

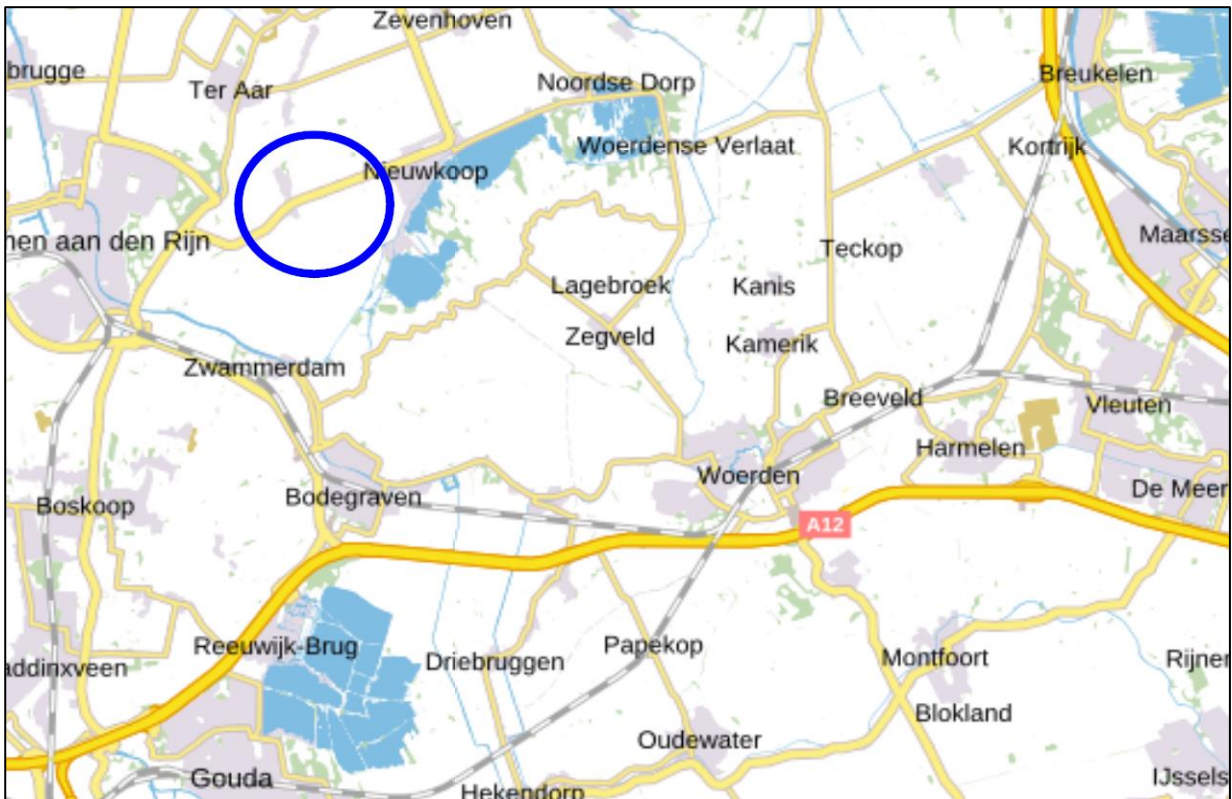
Berekening volgens NEN 3650:2020

Naam van het project : Voorbeeld sterkteberekening Sigma type "Open Sleuf"

Projectonderdeel : Sterkteberekening \emptyset 315 mm PE SDR 11 waterleiding

Opdrachtgever : Waterleidingbedrijf X

Voorbeeld sterkteberekening Sigma type "Open Sleuf" Sterkteberekening \emptyset 315 mm PE SDR 11 waterleiding



Locatie van de werkzaamheden (fictieve locatie)

Datum rapport: 24 december 2021



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



Berekening volgens NEN 3650:2020

Naam van het project : Voorbeeld sterkteberekening Sigma type "Open Sleuf"

Projectonderdeel : Sterkteberekening \varnothing 315 mm PE SDR 11 waterleiding

Opdrachtgever : Waterleidingbedrijf X



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	1
Berekening ontgroningkraters	2
Berekening veiligheidszones	2
Berekening diepte van de erosiekrater	2
Berekeningen van de spanningen t.g.v. inwendige druk	2
Spanning in omtreksrichting	2
Spanning in langsrichting	2
Toelaatbare spanning = toelaatbare materiaalspanning x importantiefactor	2
Reroundingfactor frr	3
Berekening van de grondbelastingen	3
Berekening neutrale grondbelasting	3
Passieve grondbelasting t.g.v. inklinken sleuf	3
Berekening reële grondbelasting	4
Berekening van de verkeersbelasting	4
Ontlastende invloed t.g.v. wegconstructie	5
Berekening indirecte belastingen	5
Uitvoeringszakingsverschil tijdens de uitvoering	6
Zettingsverschil in gebruiksfase leiding	6
Evenwichtsdraagvermogen x Uitwendige middellijn leiding	6
Spanningen t.g.v. directe en indirecte belastingen	6
Spanning 1e en 2e jaar na aanleg van de leiding	6
Spanning na 2 jaar na aanleg van de leiding	6
Spanningen t.g.v. uitvoeringszakkingverschil en zettingsverschil	7
Spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil	7
Spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingen en zettingsverschil	7
Spanningen t.g.v. temperatuurverschil	7
Toeslag op spanningen indien een bocht wordt toegepast (i_x , i_y , i_{xp} en i_{yp})	7
Toetsen berekeningsresultaten aan eisen NEN 3650:2020	8
1. Toetsen op minimale ringstijfheid	8
2. Toetsen op implosie	8
3. Toetsen op deflectie (vervorming)	8
4. Toetsen op optredende spanningen	9

Bijlagen

Bijlage A : Grondgegevens

Bijlage B : Sterkteberekening volgens de Open Sleuf methode conform de NEN 3650:2020

Berekening volgens NEN 3650:2020

Naam van het project : Voorbeeld sterkteberekening Sigma type "Open Sleuf"

Projectonderdeel : Sterkteberekening \varnothing 315 mm PE SDR 11 waterleiding

Bladzijde : 1



Basisgegevens

Materiaal en leidinggegevens

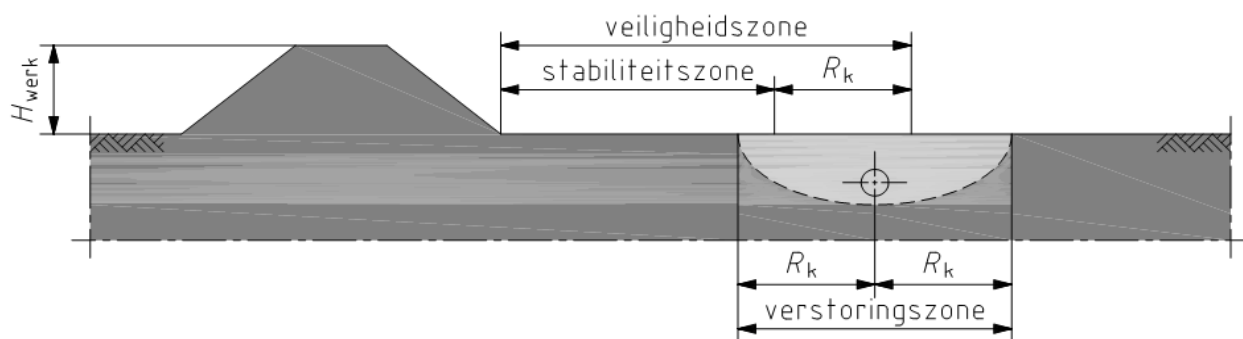
Materiaal		=	PE 100 SDR 11
Uitwendige diameter	D_e	=	315 mm
Wanddikte	d_n	=	28,7 mm
Inwendige diameter	D_i	=	257,6 mm
Gemiddelde diameter	D	=	286,3 mm

Procescondities

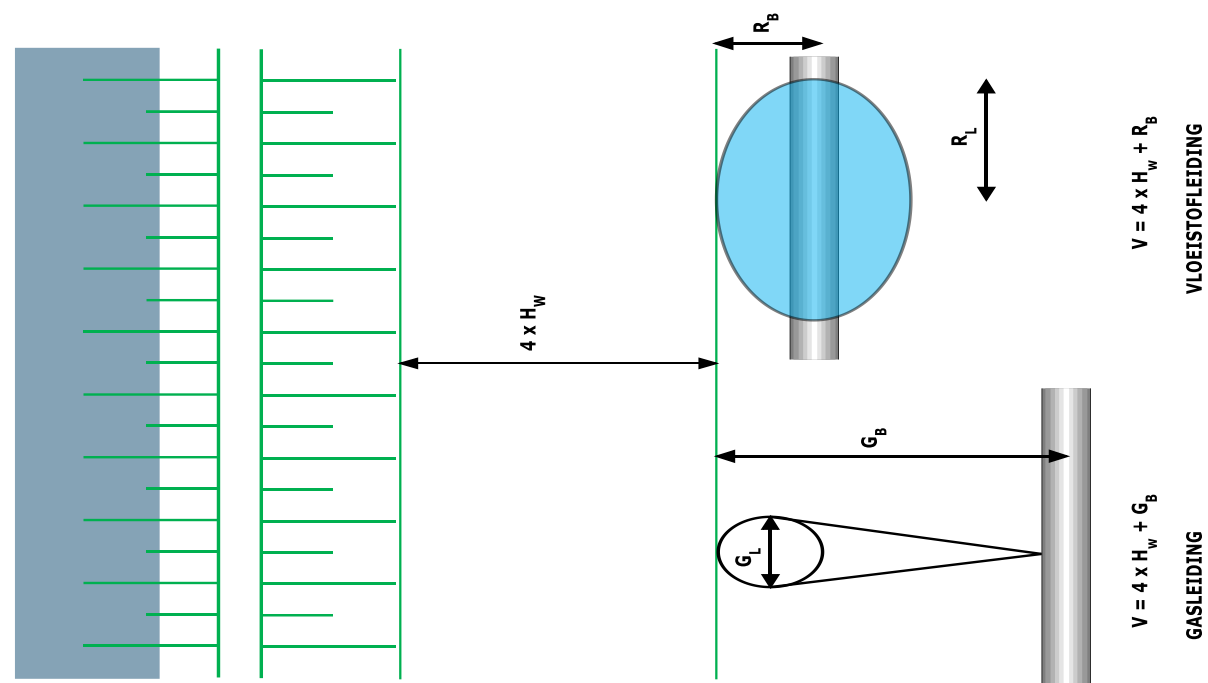
Ontwerpdruk	pd	=	0,3 N/mm ²
Volumieke massa medium	p	=	1000 kg/m ³

Gegevens van het waterstaatswerk

Verheeld of niet verheeld waterstaatswerk		Niet verheeld
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H_{werk}	2,50 m
Stabiliteitszone = viermaal hoogteverschil kruin-maaiveld	$H_{\text{werk}} \times 4$	10,00 m



Dwarsdoorsnede principe veiligheidszone volgens NEN 3651:2020



Schematische weergave van stabiliteitszone-, verstoringzone en veiligheidszone



Berekening ontgrondingkraters

Factor $H^3 D_i^5$	-	=	-
Halve breedte erosiekrater	R_B	=	12,36 m
Halve lengte erosiekrater	R_L	=	12,36 m

Berekening veiligheidszones

Bij evenwijdige ligging	$V(R_B)$	=	22,36 m
Bij kruising	$V(R_L)$	=	22,36 m

Berekening diepte van de erosiekrater

Diepte krater	D_k	=	1,578 m
---------------	-------	---	---------

Conclusie

Ter plaatse is sprake van evenwijdige ligging aan de waterkering.

Dit betekent dat de veiligheidszone gelijk is aan $4 \times H_{\text{werk}} + R_B$ = **22,36 m**

De diepte van de krater t.o.v. het maaiveld ter plaatse van de buis bedraagt **1,578 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.

Berekeningen van de spanningen t.g.v. inwendige druk

Spanning in omtreksrichting

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d \quad \sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

Spanning in langsrichting

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p \quad \sigma_{pl} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = toelaatbare materiaalspanning x importantiefactor = **6,00 N/mm²**

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}

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right) \quad f_{rr} = 0,92$$

Berekening 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

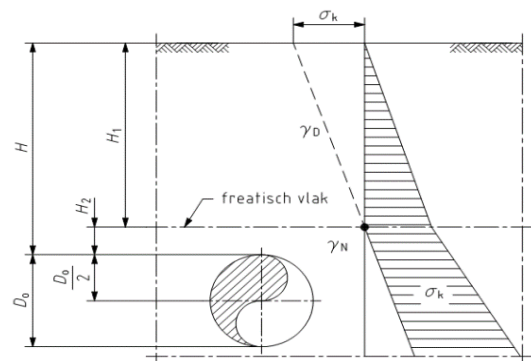
Berekening neutrale grondbelasting

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:

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



Volgens de sterkteberekening bedraagt de grondbelasting $Q_n = 5,75 \text{ N/mm}^1$

Passieve grondbelasting t.g.v. inklinken sleuf

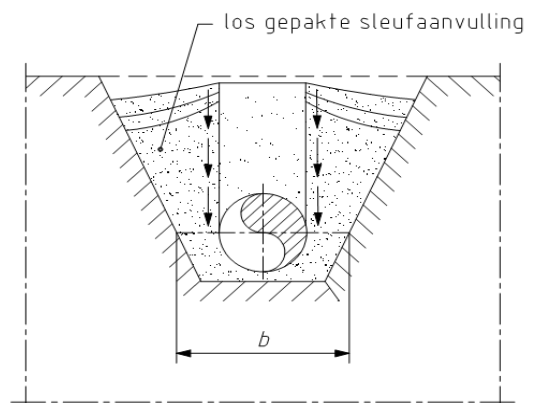
$$q_p = q_n \times \left(1 + f_m \frac{H}{D_0} \right)$$

De Marstonfactor f_m is afhankelijk van de sleufbreedte op buisniveau.

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



Volgens de sterkteberekening bedraagt de grondbelasting $Q_p = 7,57 \text{ N/mm}^1$

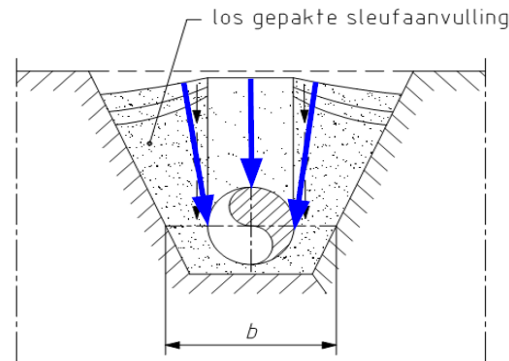


Berekening reële grondbelasting

Gedurende het 1^e en 2^e jaar na aanleg moet gerekend worden met het inklinken van de sleuf

De leiding wordt als gevolg daarvan extra belast.

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{Z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{Z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$$



Sleufvulling		Grondsoort			
		Veen/slappe klei	Stijve klei	Normaal zand	Hard zand
Onverdicht	μ	0,20	0,15	0,075	0,075
Verdicht	μ	0,10	0,075	0,02	0,02

Volgens de sterkteberekening bedraagt de grondbelasting

$$Q_k = 7,35 \text{ N/mm}^1$$

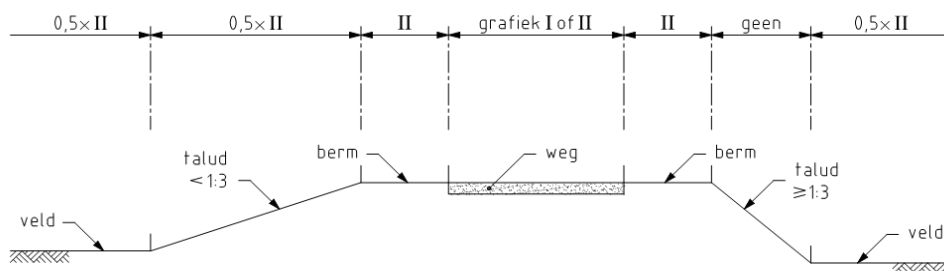
Deze grondbelasting kan niet hoger zijn dan de passieve grondbelasting.

In rekening te brengen klinkbelasting op de leiding

$$Q_k = 7,35 \text{ N/mm}^1$$

Berekening van de verkeersbelasting

Er wordt bij verkeersbelasting onderscheid gemaakt in drie verkeersklassen:



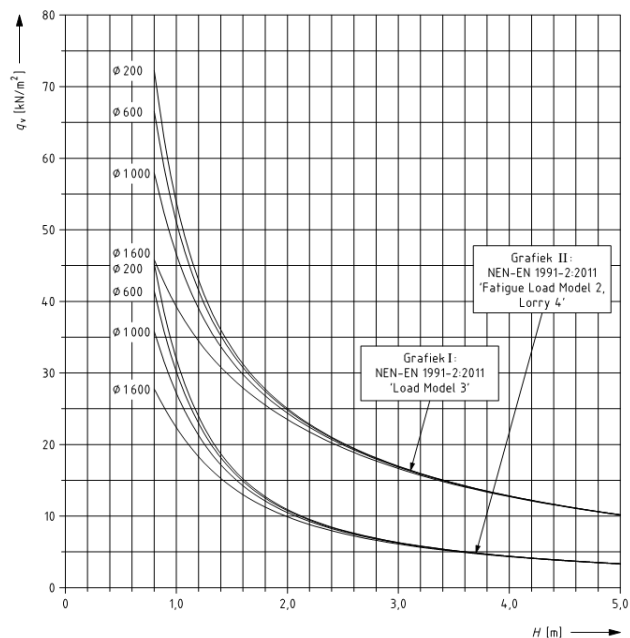
Grafiek I is van toepassing op stroomwegen zoals rijkswegen en provinciale wegen.

Grafiek II is van toepassing voor stadswegen.

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

bijvoorbeeld voor bij maaierkzaamheden

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$





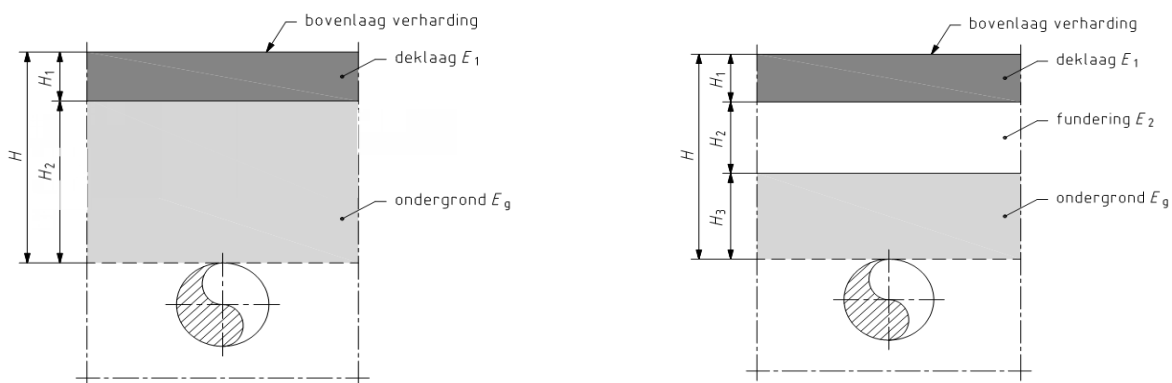
Ontlastende invloed t.g.v. wegconstructie

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

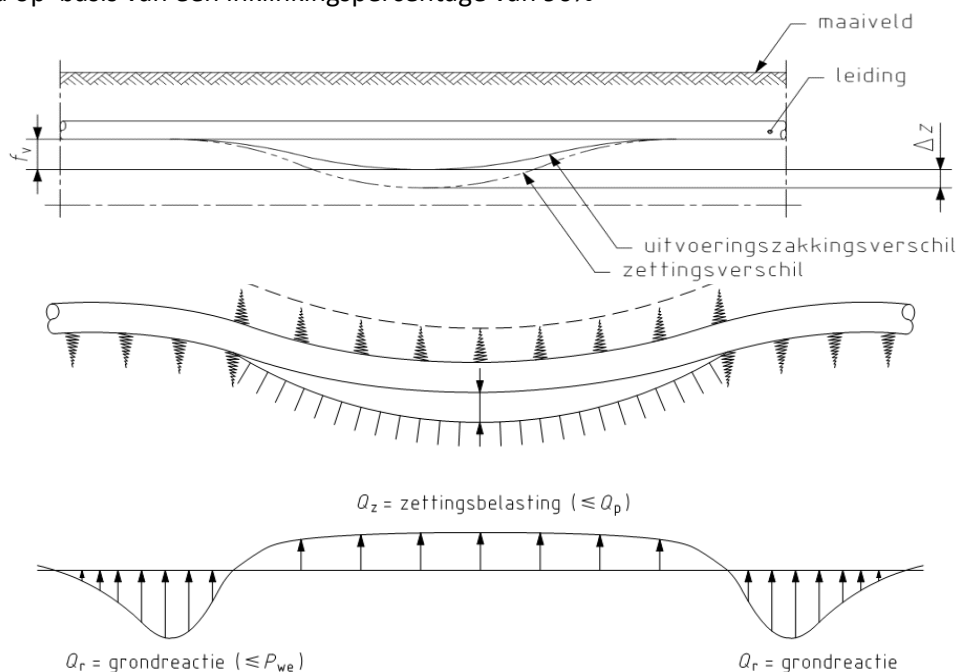
Volgens de sterkteberekening bedraagt de verkeersbelasting $Q_v = 11,98 \text{ N/mm}^1$

Berekening indirecte belastingen

Berekening invloed zettingen (tijdens uitvoering) gebeurt door het uitvoeringszakkingsverschil in rekening te brengen. De zettingslengte L varieert van 20 m tot 50 m.

In standaard berekeningen wordt een lengte van $2 \times 20 \text{ m} = 40 \text{ m}$ aangehouden.

Bij kruisingen met waterkeringen en wegen wordt de zettingslengte berekend op basis van een inklinkingspercentage van 90%





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

Uitvoeringszakkingsverschil tijdens de uitvoering	f_v	=	5,00	mm
Zettingsverschil in gebruiksfase leiding	f_z	=	0,00	mm

In de berekening is rekening gehouden met: Evenwijdig aan waterstaatswerk

De zettingslengte waarmee gerekend is bedraagt	L	=	40.000	mm
Inklemmingspercentage gelet op buigstijfheid leiding	i	=	96,70	%

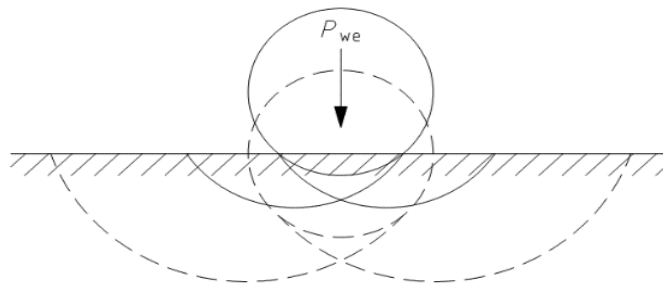
Indirect overgedragen bovenbelasting t.g.v. uitvoeringszakkingsverschil

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_0 \cdot k_{v,gem} \quad Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^2$$

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

Indirect overgedragen bovenbelasting t.g.v. uitvoeringszakkingsverschil en zettingsverschil	Q_d	=	0,11	N/mm^2
---------------------------------------------------------------------------------------------	-------	---	------	-----------------

Nu de bovenbelastingen zijn bepaald (Q_k , Q_n , Q_v en Q_d) moet onderzocht worden of de grondslag deze belastingen wel kan ondergaan. Dit gebeurt door het evenwichtsdragvermogen te bepalen en te vergelijken met de bovenbelastingen.



Bij het berekenen van het evenwichtsdragvermogen wordt in zand de volgende formule gebruikt:

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

Bij klei en veengrond is de volgende formule van toepassing:

$$P_{we} = 0,85 \times c_u (\pi + 2) \times (1 + S_c + d_c)$$

Evenwichtsdragvermogen x Uitwendige middellijn leiding	$P_{we} D_0$	=	209,47	N/mm^2
--------------------------------------------------------	--------------	---	--------	-----------------

Spanningen t.g.v. directe en indirecte belastingen

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

In deze formule is de invloed van de inwendige druk uitgedrukt via f_{rr}

Spanning 1e en 2e jaar na aanleg van de leiding	σ_q	=	2,58	N/mm^2
Spanning na 2 jaar na aanleg van de leiding	σ_q	=	2,37	N/mm^2



Spanningen t.g.v. uitvoeringszakkingverschil en zettingsverschil

Als gevolg van het uitvoeringszakkingverschil ontstaat spanning in langsrichting.

Deze spanning is afhankelijk van de uitvoeringszakking en de buigstijfheid van de leiding.

De gemiddelde verticale beddingsconstante. $k_{v,gem} = 0,018 \text{ N/mm}^3$

De spanning σ_{bx} ten gevolge van het uitvoeringszakkingverschil wordt als volgt berekend:

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

Spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil $\sigma_{bx} = 0,01 \text{ N/mm}^2$

Na twee jaar wordt deze spanning hoger indien sprake is van een zettingsverschil.

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

Het zettingsverschil wordt met onzekerheidsfactor in rekening gebracht.

Spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingen en zettingsverschil $\sigma_{bx} = 0,01 \text{ N/mm}^2$

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 $\sigma_{ax} = 1,56 \text{ N/mm}^2$

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 $R = 1.102,50 \text{ mm}$

Wanddikte van de bocht $t = 28,70 \text{ mm}$

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

i_x	=	0,67	-
i_{xp}	=	1,00	-
i_y	=	1,35	-
i_{yp}	=	1,11	-



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	=	81,585	kN/m ²
Minimale ringstijfheid volgens NEN 3650	S_{N_min}	=	2	kN/m ²

Conclusie toetsing op minimale ringstijfheid:

Voldoet

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	$p_{o,kort}$	=	1,56	N/mm ²
Implosie lange duur	$p_{o,lang}$	=	0,28	N/mm ²
Er is een risico op implosie indien meer grondwater aanwezig is dan			27,87	m
Ter plaatse is grondwater boven de buis van	h_n	=	0,20	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 als gevolg van grond- verkeer en indirecte belasting	=	2,27	mm
Maximaal toelaatbare deflectie	=	17,18	mm

Conclusie toetsing op implosie:

Voldoet



4. Toetsen op optredende spanningen

Toelaatbare spanning (Toelaatbare materiaalspanning x importantiefactor) = 6,00 N/mm²

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

Gedurende 1e en 2e jaar na aanleg

Optredende spanningen in omtreksrichting $\sigma_{y2} = 1,69 \text{ N/mm}^2$ **Voldoet**

Optredende spanningen in langsrichting $\sigma_x = 2,22 \text{ N/mm}^2$ **Voldoet**

Na 2 jaar na aanleg

Optredende spanningen in omtreksrichting $\sigma_{y2} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ **Voldoet**

Optredende spanningen in langsrichting $\sigma_x = 2,22 \text{ N/mm}^2$ **Voldoet**

Berekening volgens NEN 3650:2020

Projectonderdeel : Sterkteberekening \varnothing 315 mm PE SDR 11 waterleiding

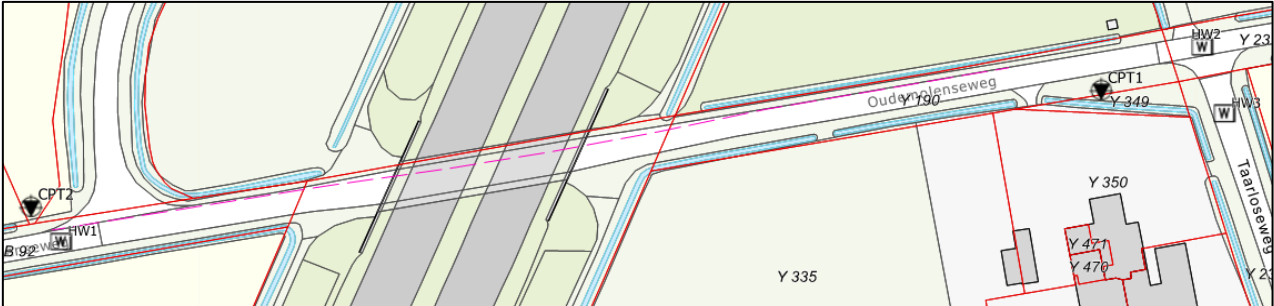
Opdrachtgever : Waterleidingbedrijf X

Bijlage A Grondgegevens

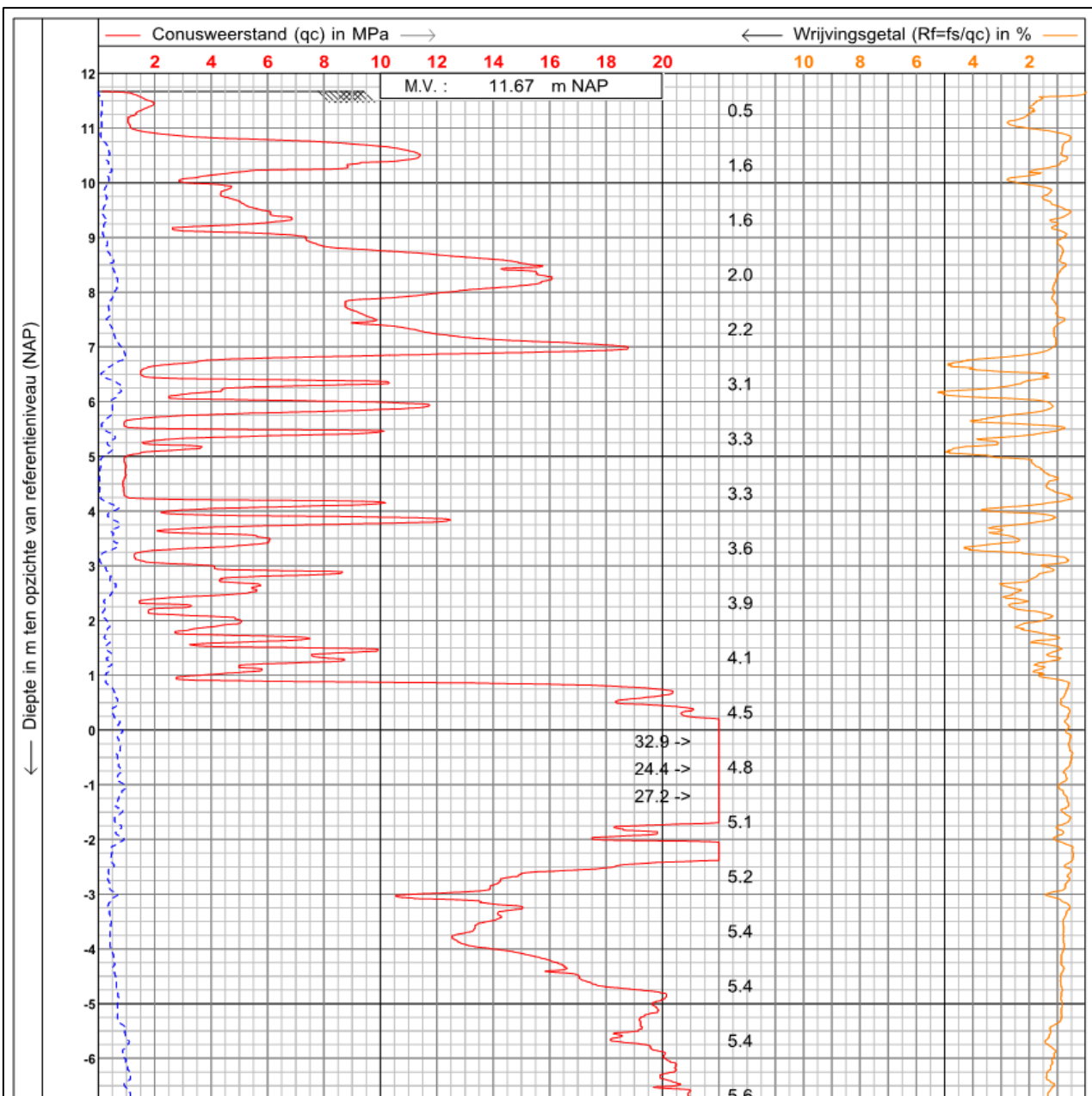


Overzicht beschikbaar grondonderzoek

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



Grondonderzoeken die gebruikt zijn voor de berekeningen



Fragment van sondering nr. 1

Berekening volgens NEN 3650:2020

Projectonderdeel : Sterkteberekening Ø 315 mm PE SDR 11 waterleiding

Opdrachtgever : Waterleidingbedrijf X

Bijlage B Sterkteberekening



Sterkteberekening volgens de Open Sleuf methode conform de NEN 3650:2020