

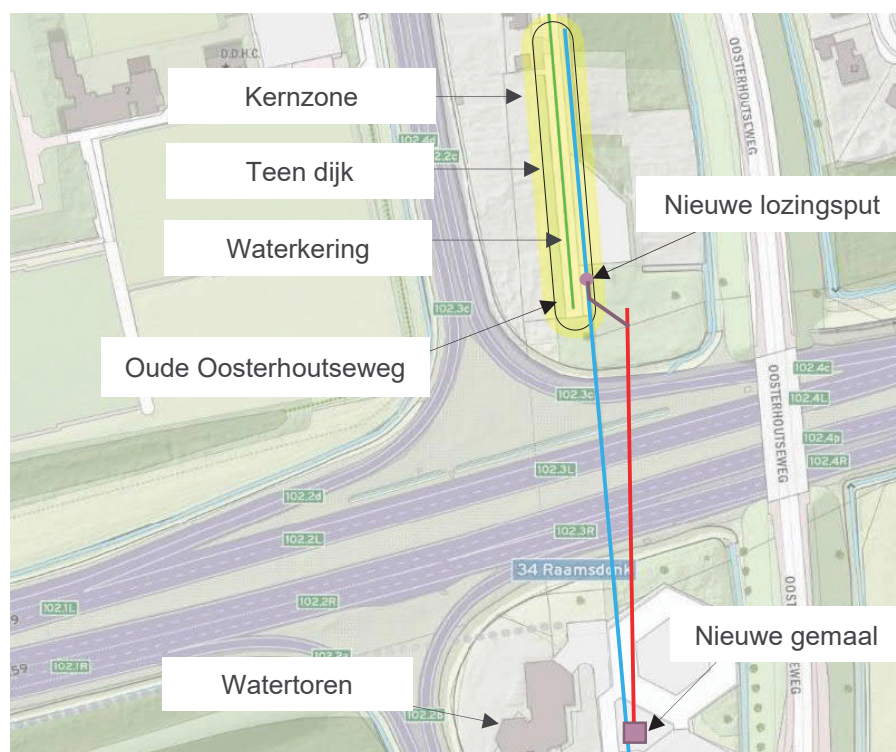
Notitie

Onderwerp: Stabiliteit lozingsput en vrijvervalaansluiting
 Projectnummer: 51001166
 Referentienummer: NL21-648800269-1458
 Datum: 15-07-2021

1 Inleiding

Gemeente Geertruidenberg verlegt in het kader van de verbreding van de A27 een rioolpersleiding onderdoor de A59 tussen de Watertoren (zuidzijde) en de Oude Oosterhoutseweg (noordzijde) met een horizontaal gestuurde boring (HDD). De nieuwe rioolpersleiding wordt ter hoogte van de Oude Oosterhoutseweg in open ontgraving aangesloten op het bestaande vrijvervalriool middels een nieuw stuk persleiding van circa 19 meter (PE Ø125 mm SDR 11) die uitkomt in een lozingsput (zie figuur 1).

De lozingsput en persleiding liggen binnen de kernzone van de compartimenteringskering (secundaire waterkering) in beheer van waterschap Brabantse Delta en zijn daarom vergunningplichtig volgens de Keur van het waterschap. Deze notitie bevat een krater- en sterkteberekening conform NEN 3650 en NEN 3651.



Figuur 1 Schematische weergave HDD tussen de Watertoren en Oude Oosterhoutseweg (rode lijn), aansluiting nieuwe persleiding in open ontgraving (paarse lijn) en de huidige vrijverval leiding (blauwe lijn). Daarnaast afgebeeld de waterkeringsgegevens uit legger van waterschap Brabantse Delta

1.1 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 beschrijven wij de uitgangspunten gehanteerd in deze rapportage. Hoofdstuk 3 beschrijft de berekeningsresultaten en hoofdstuk 4 omvat een korte conclusie.

2 Uitgangspunten

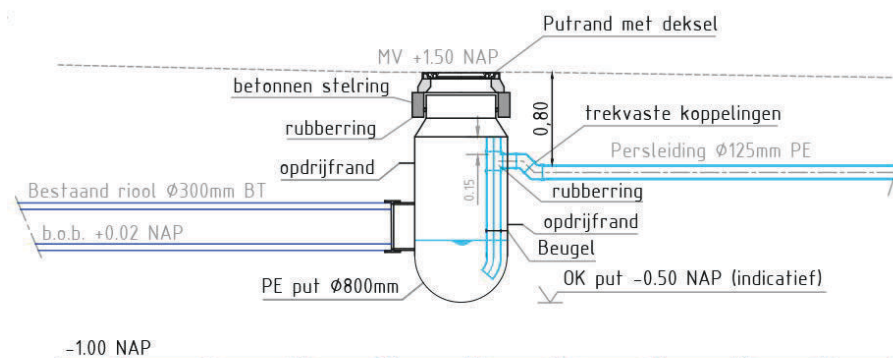
Bij het opstellen van de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. Berekeningen zijn opgesteld conform NEN 3650:2020 en NEN 3651:2020;
2. Het betreft de persleidinglocatie zoals aangegeven op tekening "368215-tekening T02 Watertoren DEFINITIEF 20210706" met tekeningnummer 368215-03 d.d. 07-06-2021 opgesteld door Sweco. Deze tekening is toegevoegd als bijlage 1 aan deze notitie. De lozingsput is weergegeven in detail B op de ontwerptekening;
3. Het buismateriaal betreft een PE100 Ø125 SDR 11;
4. Het tracé van de persleiding bevat een horizontale bocht van 60° met een boogstraal van $3,5 \times D$;
5. De gronddekking op de buis bedraagt minimaal 0,8 m;
6. De maximale werkdruk bedraagt 1 bar;
7. De leiding en de lozingsput liggen in de klei. Geotechnische gegevens en parameters zijn betrokken uit het Geotechnisch Bodemonderzoek Geertruidenberg d.d. 06-07-2020 opgesteld door VWB bodem. De relevante sondering DKM2 is toegevoegd in bijlage 2;
8. De grondwaterstand bevindt zich onder de buis. Het berekenen met de grondwaterstand onder de buis geeft conservatieve uitkomsten;
9. De leiding ligt in het talud, hierdoor hanteren we verkeersklasse $\frac{1}{2} * II$, conform NEN 3650.

2.1 Werkzaamheden binnen waterkeringszone

De werkzaamheden binnen de waterkeringszone bestaan uit:

- het aanleggen van een stuk persleiding PE100 Ø125 SDR 11 van circa 19 meter in open ontgraving. Dit leidingdeel wordt trekvast uitgevoerd;
- het aanleggen van de lozingsput zoals weergegeven op detail B van de ontwerptekening (zie figuur 2);
- het aansluiten van nieuwe persleiding en de bestaande vrijvervalriolering op de nieuwe lozingsput;
- het verwijderen van het bestaande Ø300 mm vrijvervalriool vanaf de nieuw te plaatsen lozingsput tot aan de verharding van de A59. Het deel onder de A59 wordt niet verwijderd en gevuld met dämmer.



Detail B: Langsdoorsnede lozingsput Noordzijde

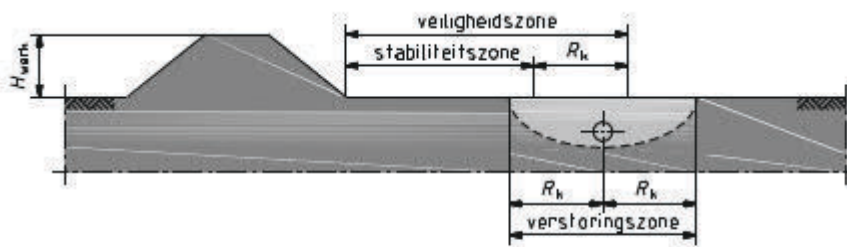
Schaal 1:50

Figuur 2 Uitsnede van het ontwerp nieuwe lozingsput zoals weergegeven in detail B van de ontwerptekening

2.2 Bepaling veiligheidszone

Buisleidingen die binnen de veiligheidszone vallen van een waterstaatswerk zijn vergunningplichtig conform NEN 3651:2020. In figuur 3 is de omvang van de veiligheidszone afkomstig uit de NEN 3651:2020 weergegeven. In de NEN 3651 wordt als vuistregel voor de stabiliteitszone $4 \times H_{\text{werk}}$ gehanteerd. De legger van waterschap Brabantse Delta geeft aan dat de kruin van de dijktafel ligt op NAP +2,00 m. Uit de AHN-3 blijkt dat het omliggende maaiveld circa 1,70 meter lager ligt op circa NAP +0,30 m. Dit betekent dat de stabiliteitszone circa 6,80 meter breed is.

Aangezien de drukriolering binnen de teen van het talud ligt, valt deze binnen de stabiliteitszone en is deze daarmee vergunningplichtig. Voor de volledigheid is ook de erosiekrater berekend om de verstoringszone te bepalen. Samen met de stabiliteitszone bedraagt de veiligheidszone in totaal 13,73 m vanuit de teen van het talud.



Legenda

H_{werk} is de hoogte van het waterstaatswerk
 R_k is de straal van de verstoringszone

Figuur 3 Schematische weergave van de veiligheidszone bij een waterstaatswerk, ontleent aan de NEN 3651:2020

In het geval van een calamiteit is in het gemaal een afsluiter aanwezig om de persleiding af te sluiten en drukloos te zetten.

2.2.1 Erosiekrater

De erosiekrater die ontstaat is berekend met de vereenvoudigde berekeningsmethode met de onderstaande formule uit NEN 3651:2020 bijlage A.2.3:

$$R_b = 8 \times \sqrt[8]{h^3 \times D_i^5}$$

Hierin zijn:

R_b halve breedte van de erosiekrater in m;
 D_i middellijn van het gat in de buis in m;
 h maatgevende drukhoogte ter plaatse van het gat, in m;

3 Sterkteberekening

Op basis van de uitgangspunten uit hoofdstuk 2 is een sterkteberekening opgesteld in het softwarepakket Sigma 2020 versie 2.0.7. De berekeningsresultaten zijn weergegeven in bijlage 3.

3.1 Drukriolering PE Ø125 mm SDR 11

Voor de leiding is een sterkteberekening van de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van 2,64 N/mm² in de eerste twee jaar na aanleg. In de uiteindelijke situatie treedt een maximale spanning op van 1,58 N/mm². Toelaatbaar is 6,00 N/mm². De berekende deflectie bedraagt 0,52 mm. De maximaal toelaatbare deflectie bedraagt $8\% \times S \times D_{\text{gem}} = 6,82 \text{ mm}$.

3.2 Resultaten erosiekraterberekening

De erosiekrater en daarmee de verstoringszone bedraagt 6,93 m. De leiding ligt binnen de veiligheidszone en is daarmee vergunningplichtig.

4 Conclusie

Uit de sterkteberekeningen blijkt dat de persleiding voldoet aan de in NEN 3650:2020 en NEN 3651:2020 gestelde eisen. Dit betekent dat de stabiliteit en de integriteit van de compartimenteringskering gewaarborgd blijft tijdens de werkzaamheden en bedrijfsfase van de persleiding.

Verantwoording

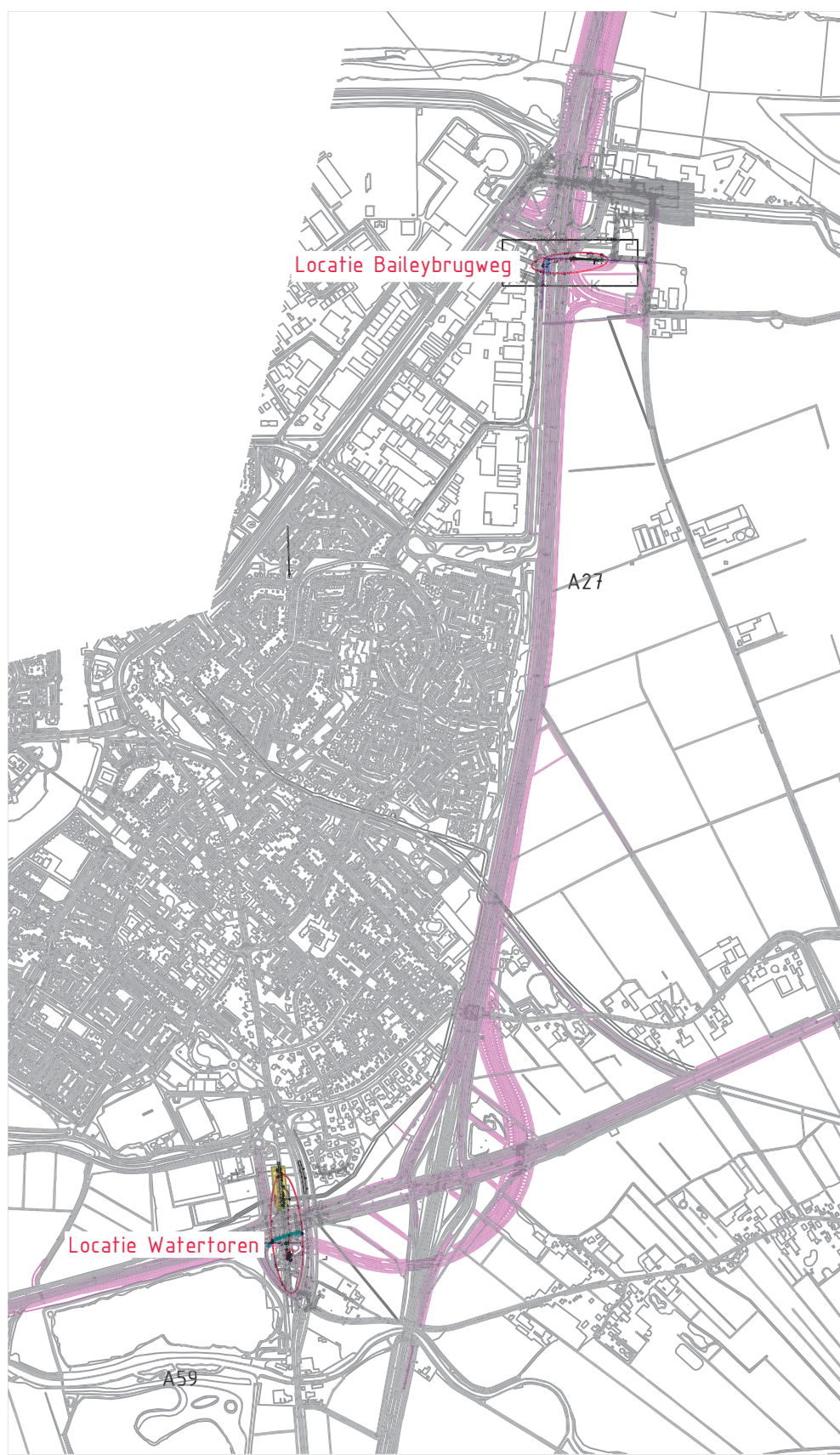
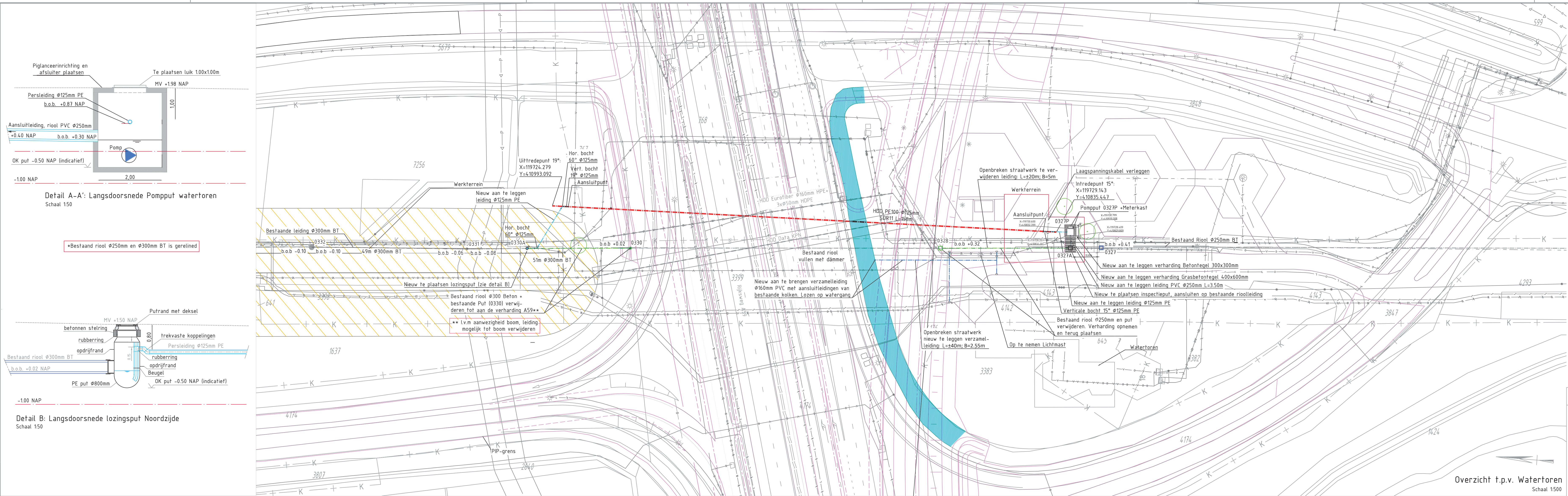
Titel	Stabiliteit lozingsput en vrijvervalaansluiting
Projectnummer	51001166
Referentienummer	NL21-648800269-1458
Revisie	D1
Datum	15-07-2021

Auteur
E-mailadres

Gecontroleerd door
Paraaf gecontroleerd

Goedgekeurd door
Paraaf goedgekeurd

Bijlage 1 Ontwerptekening



Legenda

Kadastrale grens

Leiding gevaarlijke inhoud

Datatransport

Landelijk hoogspanningsnet

Laagspanning

Middenspanning

Gasleiding hoge druk

Gasleiding lage druk

Waterleiding

Drukriolering

Riolering vrijverval

Bestaande topografie

Bestaande leiding

Aansluitleiding

Te verwijderen leiding

Kernzone waterkering

Verticaal tangentialpunt

Horizontaal tangentialpunt

Locatie sondering met nummer

PIP-grens

Bestaand maaiveld

Geprojecteerd maaiveld nieuwe situatie

Boom

Legenda geprojecteerde weg

Geprojecteerde rand verharding

Geprojecteerd grondwettelijk kruin

Geprojecteerde markering doorgetrokken

Geprojecteerde markering onderbroken 3-9

Geprojecteerde keerwand

J	Bestek V - Div. laatste wijzigingen	06-07-2021	BB	MJ	JD
G	Bestek IV - Aanpassing nieuwe lokale HDD	01-10-2020	BB	MJ	JD
B	Wijzigingen VO	01-02-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	07-02-2020	BB	MJ	JD
Rev.	Omschrijving	Datum inv.	Gek.	Gepl.	Aanv.

Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Maten in millimeters
Hoogten in meters t.o.v. N.A.P.

Gemeente Geertruidenberg
Verleggen riolering i.v.m. verbreding A27
Onderwerp: Verlegging t.p.v. Watertoren
Besteknr. Sweco 368215-03 DEFINITIEF d.d. 24-07-2020

Projectnummer	Tekeningnummer	Revisie	Datum van uitgave	Ontwerp	Controle
368215	368215-03	J	06-07-2021	Bestek	
Rev.	Tek.				
2	2	Zie tekening	A1-1189	De Bilt	BB MJ JD

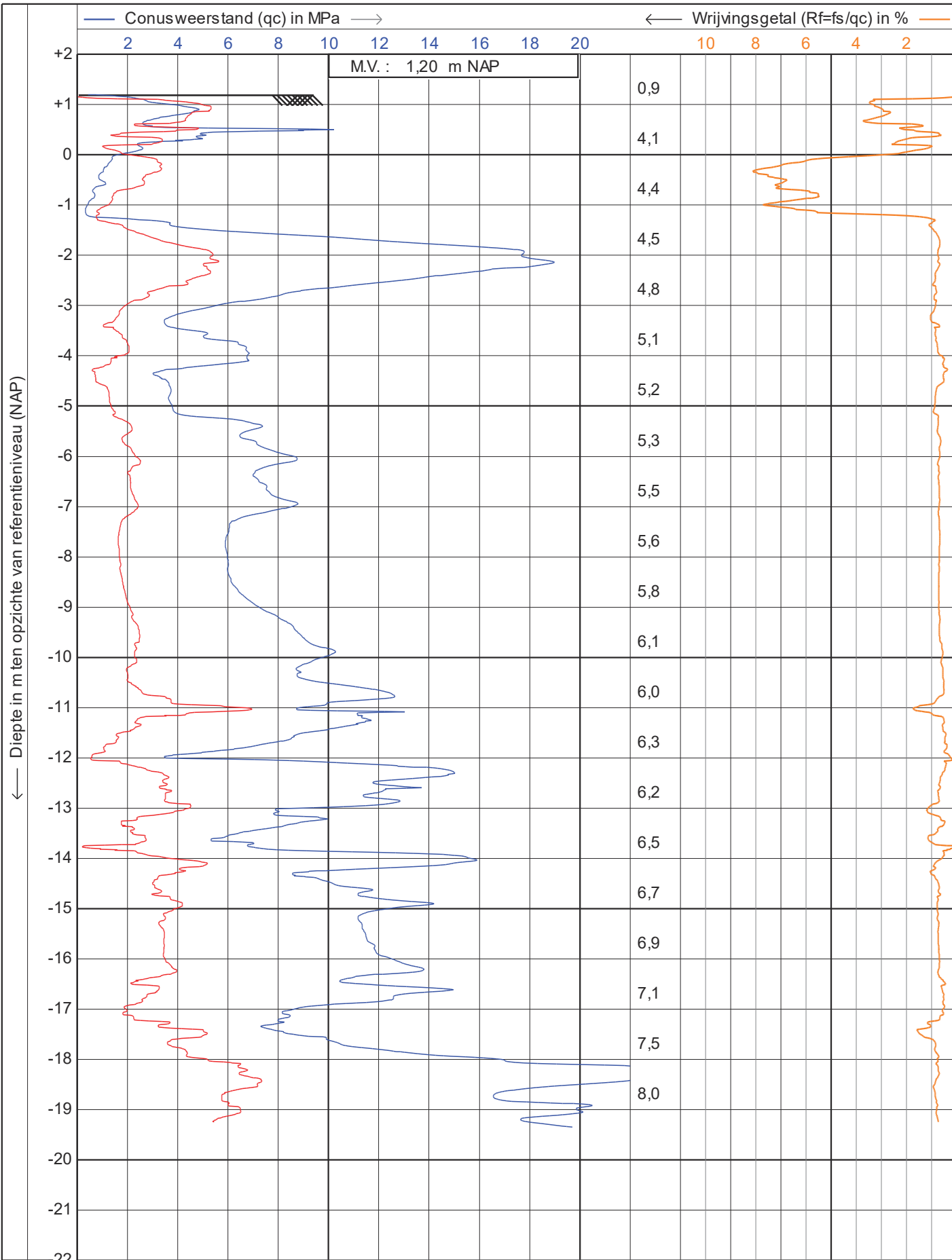
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

Dwarsprofiel Watertoren
Schaal 1:250

Diagram showing the cross-section of the water tower. It includes the profile of the water tower, the pump station, and the surrounding infrastructure. The diagram also shows the layout of the water tower, including the pump station, the water tower structure, and the surrounding infrastructure.

Bijlage 2 Geotechnisch onderzoek



225 cm²
15 cm²

— Wrijvingsweerstand (fs) in MPa →

☒ Helling (I) in graden

ISO 22476-1 Application Class 3

Project : **Geotechnisch onderzoek gemeente**

Locatie : **Geertruidenberg**

Positie : **119715,9, 411001,77 RD**

Datum : **6-7-2020**

Conusnr. : **C15CFIL.S14572**

Projectnr. : **368215**

Sondeernr.: **DKM2**

1/1

Bijlage 3 Sterkteberekening Sigma

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Stabiliteit lozingsput en vrijvervalaansluiting Projectonderdeel : Sterkteberekening en kraterberekening Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	mm
Wanddikte bocht	t	= 11,4	mm
Bochtstraal	R	= 437,50	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,80	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 10	mm
Zettingsverschil	f _z	= 15	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,075	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 2.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 22,5		°
Effectieve cohesie	c'	= 10		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 100		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,03		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,06		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 4		MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek ½ x II:			½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 2.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 102,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 113,60	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 125,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 62,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 51,10	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 6.629.052,19	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
<p>Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.</p> <p>H is de druk in meters vloeistofkolom.</p> <p>Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:</p> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,10^5 = 0,32 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,10^5} = 6,93 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 6,93 = 6,93 \text{ m}$ $D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,125 + 0,80) = 1,11 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 113,60/11,40 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{62,50^2 + 51,10^2}{62,50^2 - 51,10^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot 437,5 - 0,5 \cdot 125}{2 \cdot 437,5 - 125} \cdot 1,51 = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot 437,5 + 0,5 \cdot 125}{2 \cdot 437,5 + 125} \cdot 1,51 = 1,42 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_{p(bi)} = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,64 = 0,65 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
			14-07-2021 14:56:38

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.0 ©
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}	
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 56,8^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 123,46} \right) = 0,91$	
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 0,80 = 16,72 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 16,72 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 2,09 \text{ N/mm}^1$	
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 16,72 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,80}{0,125} \right) = 48,82 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 48,82 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 6,10 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(22,5) = 0,617$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,617}{1 + 0,617} = 0,38$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} = 4 \cdot (16,72/100)^{0,8} = 0,96 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 0,96 / \frac{1 - 0,38 - 2 \cdot 0,38^2}{1 - 0,38} = 1,81 \text{ MN/m}^2$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,125}{1,81^{1,5} \cdot \sqrt{0,80/0,125}} = 0,0051 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v, \min}}}$ $q_k = 16,72 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,125}{0,0051} \cdot (48,82 - 16,72)}{1 + \frac{48,82 - 16,72}{0,0051 \cdot 0,0300 \cdot 10^6}} = 65,67 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 65,67 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 8,21 \text{ N/mm}^1$ <p>Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 6,10 \text{ N/mm}^1$</p>	
	14-07-2021 14:56:38

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.0 ©
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17	
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,38 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,38 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 3,42 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{125 \cdot 0,06}{4 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}} = 0,0041 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0041 \cdot 40.000 = 165,08$ $i = 0,988$ (= 98,8 % inklemming) $B_z = 0,000000123$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000000123 \cdot 10 \cdot 125 \cdot 0,06 = 0,0000092 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,0000092 \cdot 0,0041 \cdot 40.000 \cdot (0,988 + \frac{0,988 \cdot 0,0041 \cdot 40.000}{6}) = 0,04 \text{ N/mm}^1$	
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000000123 \cdot (10 + 2,0 \cdot 15) \cdot 125 \cdot 0,06 = 0,000037 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,000037 \cdot 0,0041 \cdot 40.000 \cdot (0,988 + \frac{0,988 \cdot 0,0041 \cdot 40.000}{6}) = 0,17 \text{ N/mm}^1$	
	14-07-2021 14:56:38

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

$$B = D_o = 0,13 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,13 / 2 = 0,86 \text{ m}$$

$$S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$$

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,86/0,13) = 0,57$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,57)$$

$$P_{we} = 695,21 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 125,00 = 86,90 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 6,10 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,09 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 3,42 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 3,42 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,04 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,17 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 9,57 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 5,68 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)*Moment t.g.v. Q_k en Q_v*

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

$$M_q = 0,177 \cdot (6,10 + 3,42) \cdot 56,80$$

$$M_q = 95,76 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,04 \cdot 56,80$$

$$M_{qd} = 0,30 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,91 \cdot (95,76 + 0,30) / 21,66 = \mathbf{4,06 \text{ N/mm}^2}$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)*Moment t.g.v. Q_n en Q_v*

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

$$M_q = 0,177 \cdot (2,09 + 3,42) \cdot 56,80$$

$$M_q = 55,42 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,17 \cdot 56,80$$

$$M_{qd} = 1,19 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,91 \cdot (55,42 + 1,19) / 21,66 = \mathbf{2,39 \text{ N/mm}^2}$$

16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v

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

$$\sigma_{bx} = 0,000441 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,06}{11,4}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000441 \cdot (10 + 2,0 \cdot 15) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,06}{11,4}} = \mathbf{0,04 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
<p>Berekening van de factoren i_x, i_{xp}, i_y en i_{yp} van de bocht:</p> $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 56,80 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{11,4 \cdot 437,5}{56,8^2} = 1,55$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,55} = 1,07$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,55^{(2/3)}} = 0,67$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,3/975) \cdot (56,80/11,4)^{(5/2)} \cdot (437,50/56,8)^{(2/3)} = 1,22$ $i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,67}{1,22} = 0,55$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,67 = 1,35$ $i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,55 = 1,11$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$ $i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²</p>		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
<p>Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$</p> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 28,07 m grondwater boven de leiding</p>		
		14-07-2021 14:56:39

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.0 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,09 + \frac{1}{2} \cdot 3,42) - 0,095 \cdot (1 - \sin(22,5^\circ)) \cdot (2,09 + \frac{1}{2} \cdot 3,42) + 0,048 \cdot 0,17) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46} = \mathbf{0,52 \text{ mm}} (= 0,46\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 0,75 · 113,60 = 6,82 mm</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,06 + 1,11 \cdot 0,01) = \mathbf{2,64 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{2,22 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,39 + 1,11 \cdot 0,04) = \mathbf{1,58 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,04 + 1,56 = \mathbf{2,24 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	14-07-2021 14:56:39