

20-063 IJSSELSTEIN, WINDTURBINE HOGEBIEZENDIJK 23 **berekening funderingspaal**

1. Inleiding

BESTWATT heeft FuBoConsult gevraagd om een berekening te maken aangaande een open stalen buispaal die wordt toegepast als fundering voor een windturbine op het terrein van Maatschap Bos-Kuijt aan de Hogebiezendijk 23 in IJsselstein. Deze berekening wordt in thans voorliggende memo gepresenteerd.

De berekening is gemaakt met het programma D-Sheet Piling (versie 19.3), waarbij gebruik gemaakt is van de module 'Single Pile'. In dit programma worden ondergrond en buispaal gemodelleerd en kan op de paal een verticale belasting, een horizontale belasting en een moment worden ingevoerd, waarna het programma het dwarskrachten- en momentenverloop in de paal berekent.

2. Gebruikte informatie

De berekening is gebaseerd op de volgende informatie:

- ⇒ Projectlocatie: IJsselstein, Hogebiezendijk 23.
Deze locatie ligt volgens de nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4 in windgebied III.
- ⇒ Turbinetype: BW15-10.
- ⇒ Masthoogte: 15 meter.
- ⇒ Belastingen op kop funderingspaal:
Volgens de specificaties van BESTWATT oefent deze combinatie van turbine en masthoogte in windgebied III op de kop van de mast de volgende belastingen uit:
 $F_{hor} = 20,8 \text{ kN}$ | $F_{vert} = 27,9 \text{ kN}$ | $M_{kop} = 252 \text{ kNm}$
- ⇒ Deformatie-eis kop funderingspaal:
Volgens opgave van BESTWATT mag de kop van de buispaal maximaal 15 mm verplaatsen en dient de verplaatsing elastisch van aard te zijn.
- ⇒ Grondgegevens.
Er is geen project-specifiek grondonderzoek beschikbaar. Daarom is de thans gemaakte berekening gebaseerd op sonderingen die verkregen zijn uit de database DINO Lokaal. In bijlage 1 wordt aangegeven waar de gehanteerde sonderingen gemaakt zijn en worden ook de sondeergrafieken van de betreffende sonderingen getoond.

De sonderingen bevinden zich ca. 200 meter van de plaats waar de turbine komt te staan, binnen DINO Lokaal is geen informatie beschikbaar over grondonderzoekresultaten van locaties die dicht bij de te plaatsen turbine gelegen zijn.

Opgemerkt dient te worden dat er geen garantie is dat het sondeerbeeld van de thans gebruikte sondering representatief is voor de ondergrond ter plaatse van de turbine. Als men meer zekerheid wil over de grondgesteldheid, dan kan men proberen om middels lokaal archiefonderzoek (bijvoorbeeld bij de gemeente of bij eigenaren of bouwers van de opstallen in de onmiddellijke nabijheid van de turbine) nadere gegevens te verkrijgen over de grondgesteldheid. Een andere mogelijkheid is het laten uitvoeren van een sondeeronderzoek op de plaats waar de turbine komt te staan.

3. Overige uitgangspunten

Naast de verstrekte informatie en de sonderingen uit DINO Locket zijn in de berekening de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- ⇒ Beoogde funderingsconstructie:
Open stalen buispaal Ø1.020 x 12 mm, lang 10,00 m.
- ⇒ Kop paal 0,25 m boven maaiveld.
- ⇒ Maaiveld sondering komt overeen met maaiveld ter plaatse van turbine.
- ⇒ Levensduur 25 jaar.
- ⇒ Staalkwaliteit S355.
- ⇒ Grondwaterstand 1,00 m onder maaiveld.

4. Grondparameters

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de in de berekening gehanteerde grondparameters. Deze zijn bepaald op basis van de ongunstigste van de drie sonderingen met gebruikmaking van de tabellen 3.1 t/m 3.3 in deel 1 van CUR 166 'Damwandconstructies' (6^e druk). In de tabel wordt het maaiveld als nulpeil gehanteerd.

BK LAAG	GROND	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	ϕ [°]	C [kN/m ²]	E_M [kN/m ³]
+0,00	veen	11	11	15	1	1.000
-4,00	klei	14	14	17,5	0	1.000
-5,00	zand	17	19	30	0	3.000
-10,00	zand	17	19	30	0	7.500

5. Karakteristieken buispaal

In thans gemaakte berekening wordt uitgegaan van een buispaal Ø1.020 x 12 mm. In verband met de heikbaarheid dient de wanddikte van de paal ten minste 1% van de buitendiameter te bedragen. De paal Ø1.020 x 12 mm voldoet aan dit criterium.

Volgens EN 1993-5 dient voor een periode van 25 jaar in schone ongeroerde grond gerekend te worden met een afroesting van 0,30 mm per zijde. Dit betekent dat aan het einde van de levensduur een paal Ø1.019,4 x 11,4 mm resteert. In onderstaande tabel zijn de karakteristieken van de buispaal na corrosie gegeven.

I [cm ⁴]	458.566
W [cm ³]	8.997
A [mm ²]	36.101
A_v [mm ²] ^{a)}	22.983

^{a)} : $A_v = 2 \cdot A / \pi$

6. Berekeningsresultaten

Voor de in- en uitvoer van de berekening zie bijlage 2. De belangrijkste resultaten zijn:

Kopverplaatsing buis: 14,5 mm
Moment in buis: 271,48 kNm
Dwarskracht in buis: 56,64 kN
Normaalkracht in buis: 27,9 kN (dit is F_{vert})

7. Toetsing sterkte buispaal

De spanningen in het buisprofiel Ø1.020 x 12 mm na 2 x 0,30 mm corrosie bedragen:

$$\sigma = M/W + N/A$$

$$271,48 \text{ kNm} / 8.997 \text{ cm}^3 + 27,9 \text{ kN} / 36.101 \text{ mm}^2 = 31 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = V/A_v$$

$$56,64 \text{ kN} / 22.983 \text{ mm}^2 = 3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Voor S355 geldt: $\sigma_{\text{max}} = 355 \text{ N/mm}^2$ | $\tau_{\text{max}} = 355/\sqrt{3} = 205 \text{ N/mm}^2$

De berekende spanningen zijn lager dan de maximale spanningen → buis sterk genoeg.

8. Kopverplaatsing

Zoals in paragraaf 6 is vermeld, bedraagt de kopverplaatsing van de buispaal 14,5 mm. Omdat de staalspanning in de buis niet hoger is dan de vloeispanning van het buisstaal kan worden gesteld dat de verplaatsing elastisch van aard is. Hiermee wordt voldaan aan het door BESTWATT opgegeven criterium dat de elastische verplaatsing van de kop van de paal maximaal 15 mm mag bedragen.

9. Conclusie

Een buis Ø1.020 x 12 mm van 10,00 m lang in staalkwaliteit S355 is geschikt als fundatie voor de turbine. De buis hoeft niet geconserveerd te worden.

Uitgangspunten:

- Palen met de kop 0,25 m boven maaiveld
- Gehanteerde grondgegevens representatief voor turbinelocatie

Kapelle, 6 juli 2020



ing. E. van Asselt

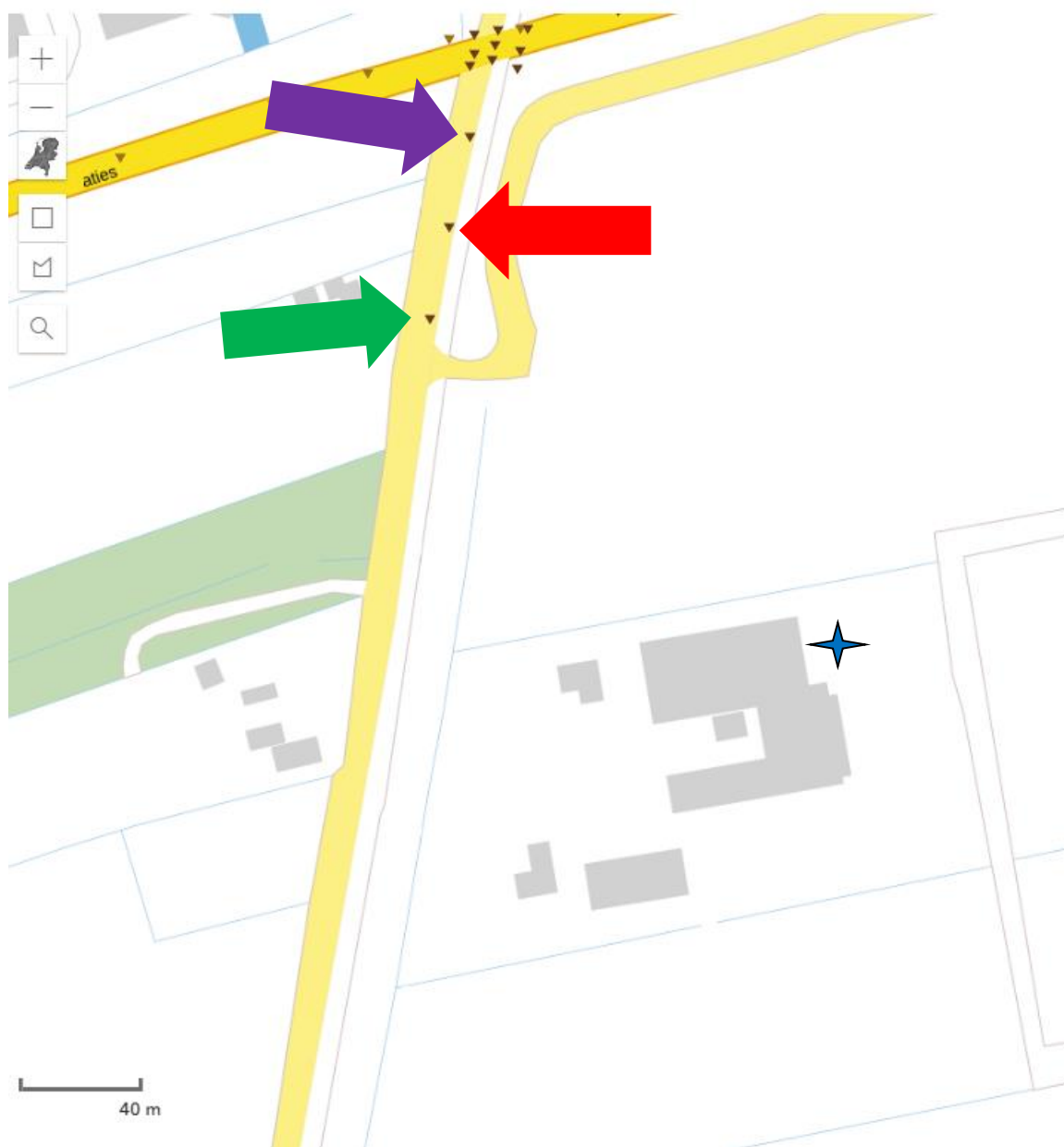
FuBoConsult

funderings- en bouwputadvies

Bijlagen:

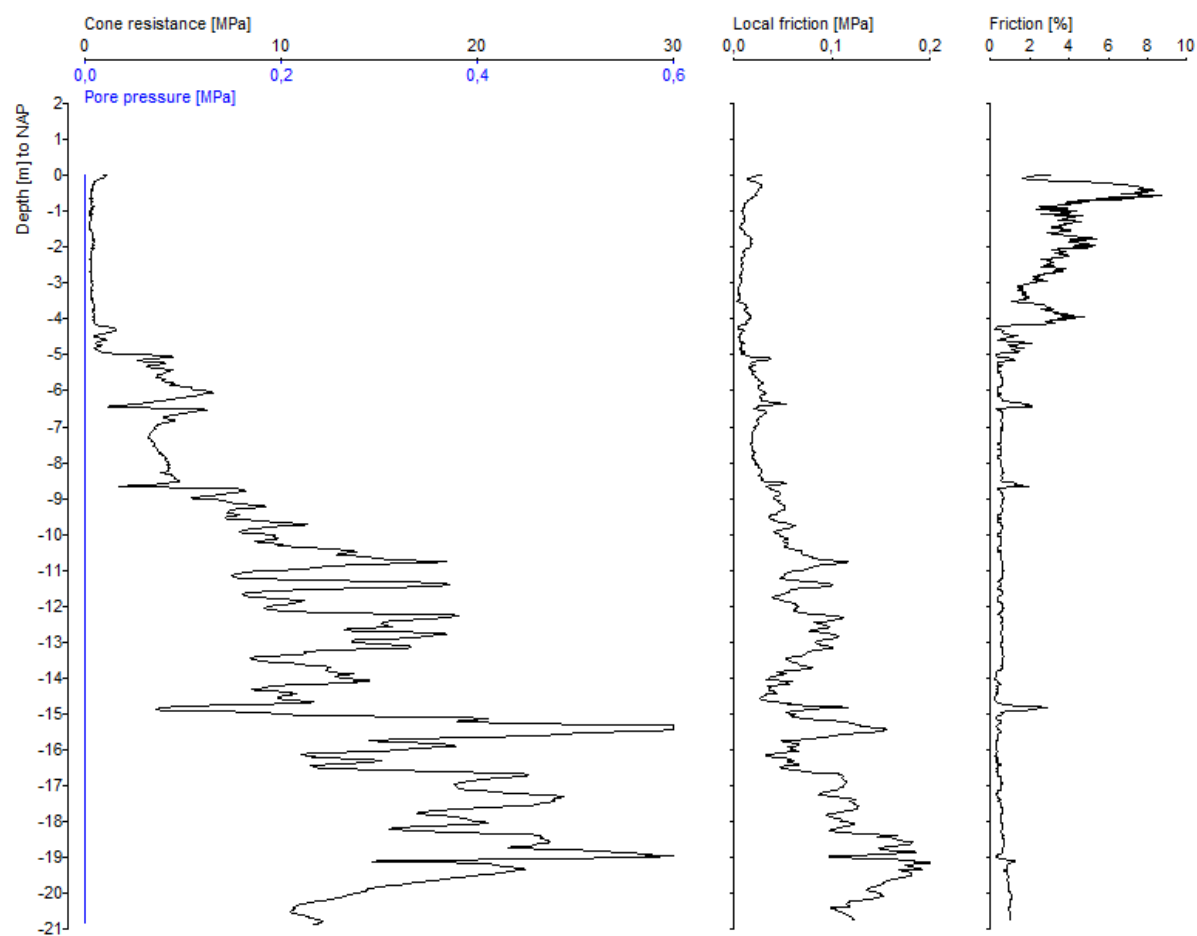
1. Grondonderzoek uit DINO Loket
2. In- en uitvoer berekening buispaal

BIJLAGE 1

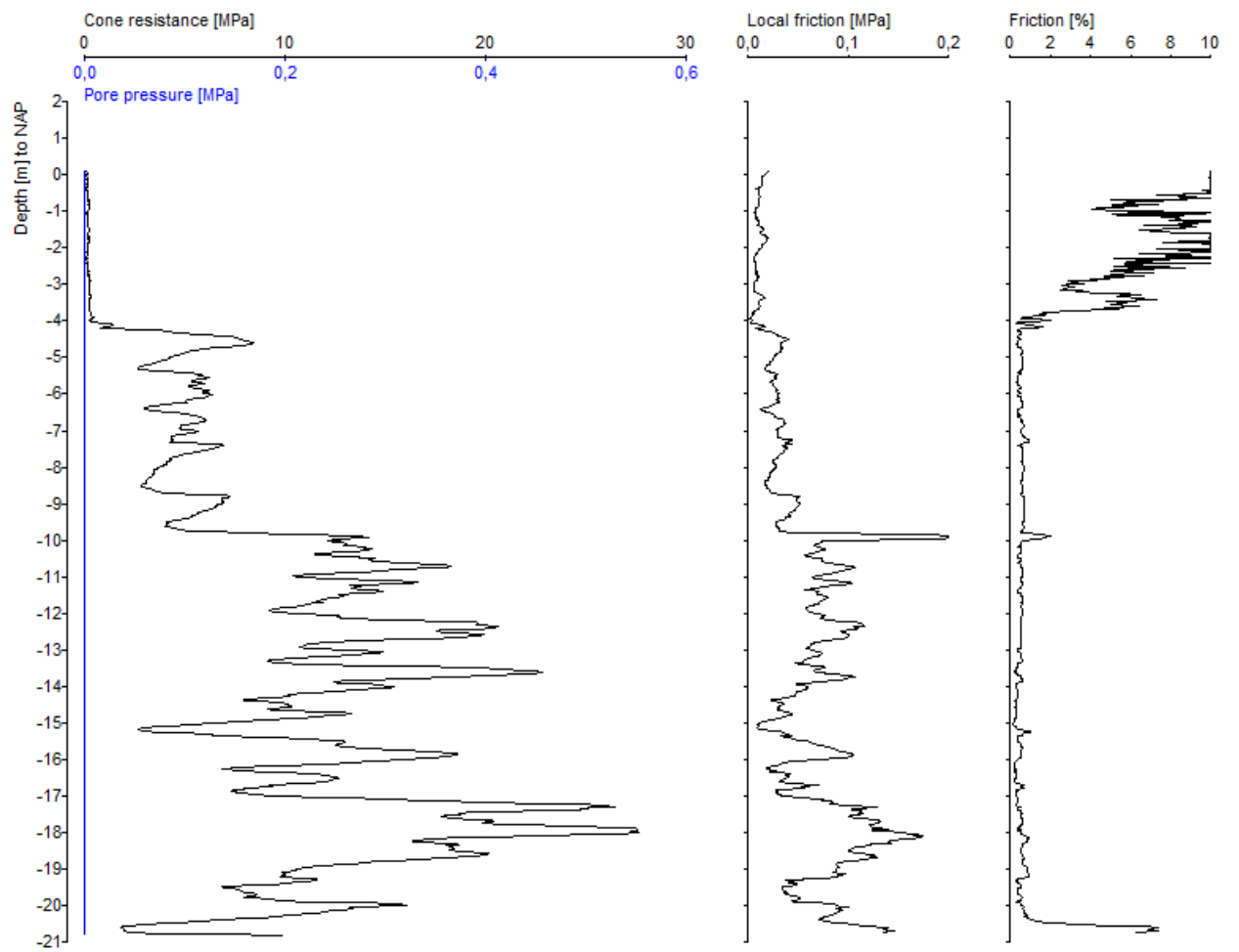


Blauwe ster:	Locatie te realiseren windturbine
Groene pijl:	sondering CPT000000042549 uit DINO Locket
Rode pijl:	sondering CPT000000042548 uit DINO Locket
Paarse pijl:	sondering CPT000000042551 uit DINO Locket

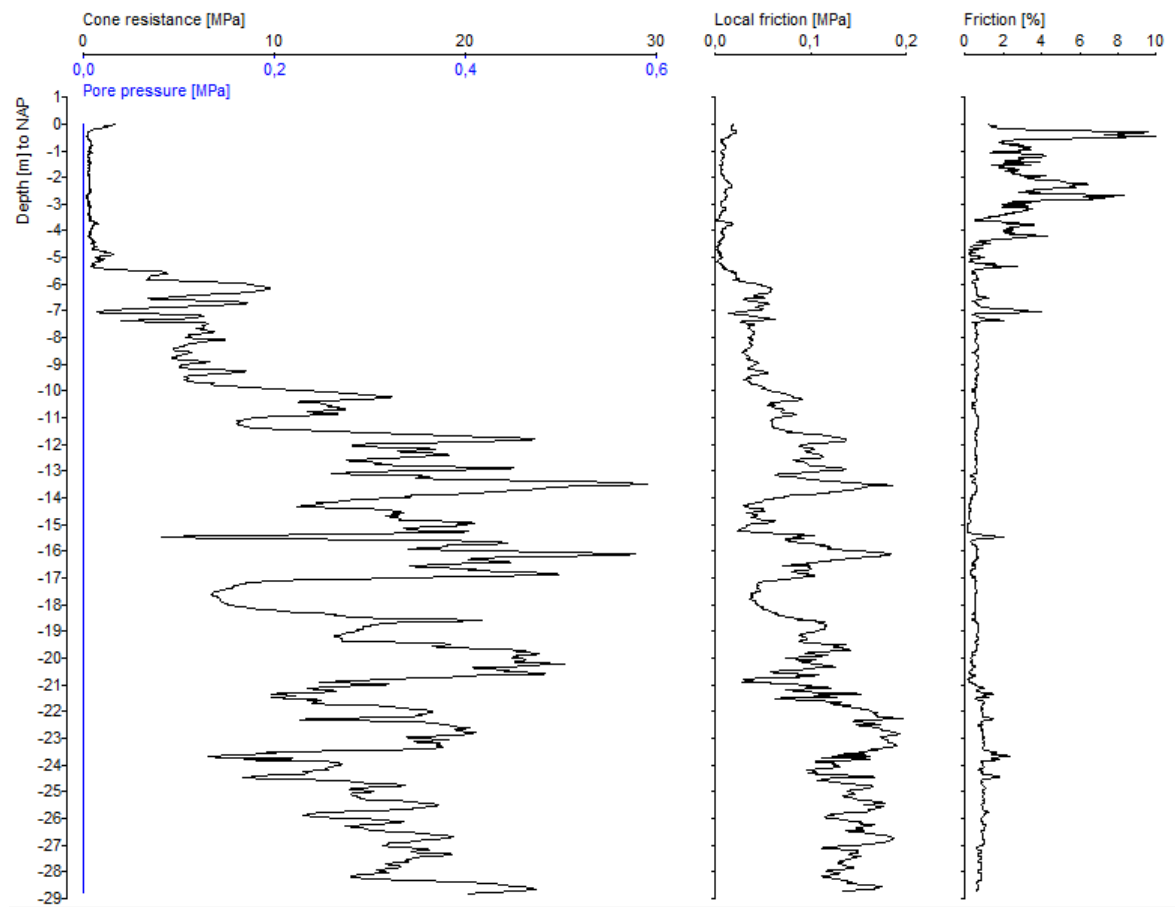
sondering CPT000000042549 is de ongunstigste



CPT000000042548



CPT000000042549



CPT000000042551

BIJLAGE 2

Report for D-Sheet Piling 19.3

Design of Diaphragm and Sheet Pile Walls
Developed by Deltares

Company: FuBoConsult
funderings- en bouwputadvies

Date of report: 7/6/2020
Time of report: 4:39:14 PM
Report with version: 19.3.1.27104

Date of calculation: 7/6/2020
Time of calculation: 4:24:56 PM
Calculated with version: 19.3.1.27104

File name: 20063-1

Project identification: IJsselstein, turbine Bos-Kuijt
Hogebiezendijk 23

1 Summary

1.1 Overview of Maxima

Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]
14,5	-271,48	58,64	0,0	3,6

2 Input Data

2.1 General Input Data

Model Single pile; Pile loaded by forces
 Unit weight of water 9,81 kN/m³
 Elastic calculation Yes

2.2 Pile Properties

Length 10,00 m
 Level top side 0,25 m
 Number of sections 1

2.2.1 General Properties

Section name	From [m]	To [m]	Material type	Diameter [m]
Ø1020x12 na 0,...	-9,75	0,25	Steel	1,02

2.2.2 Stiffness EI (elastic behaviour)

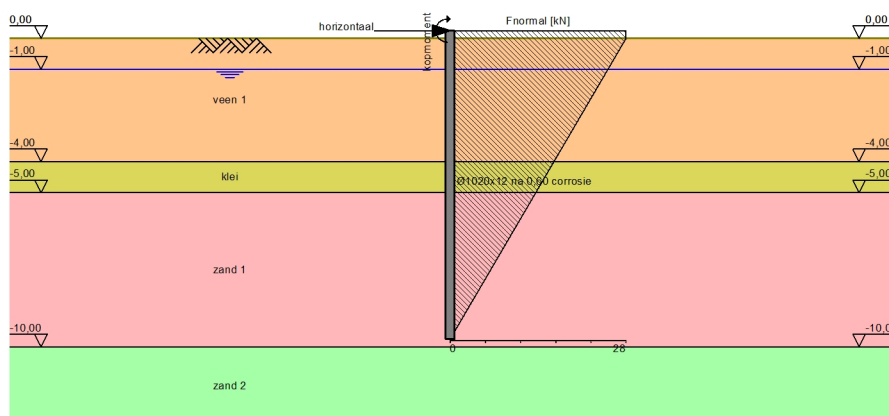
Section name	Elastic stiffness EI [kNm ²]	Red. factor on EI [-]	Corrected elas. stiffness EI [kNm ²]	Note to reduction factor
Ø1020x12 na 0,...	9,6299E+05	1,00	9,6299E+05	

2.2.3 Maximum Allowable Moments

Section name	Mr;char;el [kNm]	Modification factor [-]	Material factor [-]	Red. factor allow. moment [-]	Mr;d;el [kNm]
Ø1020x12 na 0,...	2114,00	1,00	1,00	1,00	2114,00

2.3 Outline

Outline



2.4 Normal Forces

Name	Force at sheet pile top [kN]	Force at surface level, left side [kN]	Force at surface level, right side [kN]	Force at sheet pile toe [kN]
verticaal	27,90	27,90	27,90	0,00

2.5 Horizontal Forces

Name	Level [m]	Load [kN]
horizontaal	0,25	20,80

2.6 Moments

Name	Level [m]	Moment [kNm]
kopmoment	0,25	-247,06

2.7 Water Level

Water level: -1,00 [m]

2.8 Surface

Surface level: 0,00 [m]

2.9 Soil Material Properties Calculated Using Brinch Hansen

Layer name	Level [m]	Fictive cohesion [kN/m ²]
veen 1	0,00	3,62
klei	-4,00	0,00
zand 1	-5,00	0,00
zand 2	-10,00	0,00

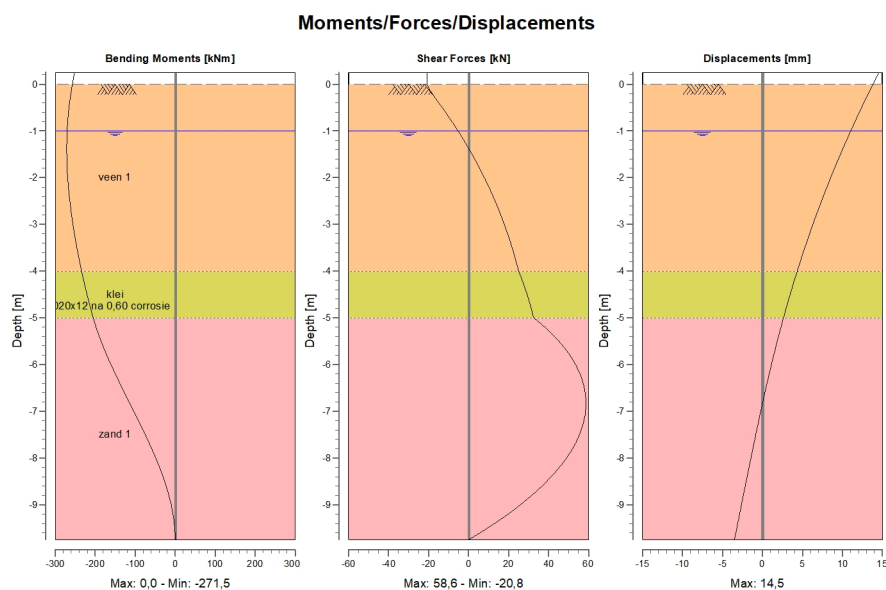
2.10 Modulus of Subgrade Reaction

Layer name	Level [m]	Ménard used	E-Mod Ménard [kN/m ²]	Soil type Ménard	Branch 1	
					Top [kN/m ³]	Bottom [kN/m ³]
veen 1	0,00	Yes	1000,00	Peat	1323,36	1323,36
klei	-4,00	Yes	1000,00	Clay	2137,05	2137,05
zand 1	-5,00	Yes	3000,00	Sand	11054,96	11054,96
zand 2	-10,00	Yes	7500,00	Sand	27637,40	27637,40

3 Calculation Results

Number of iterations: 3

3.1 Charts of Moments, Forces and Displacements

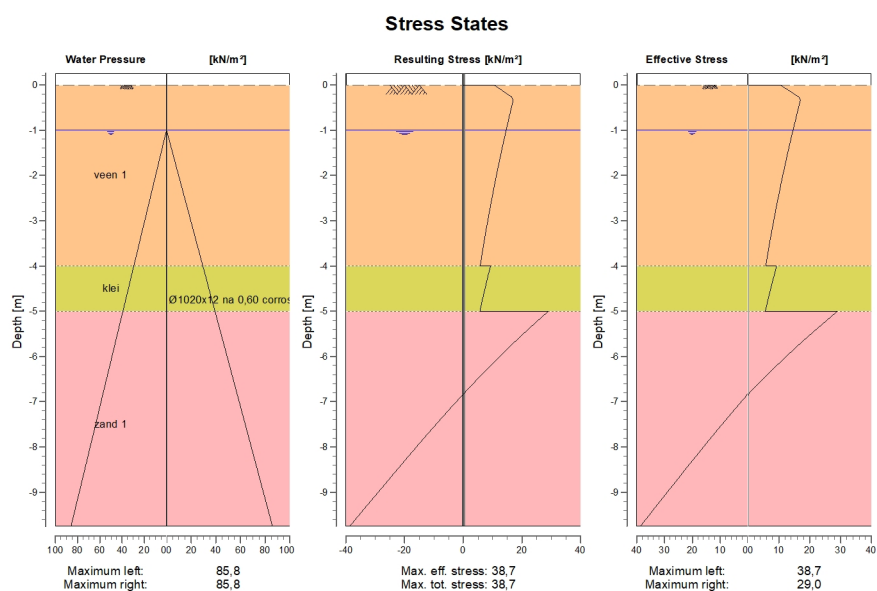


3.2 Moments, Forces and Displacements

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
1	0,25	-252,00	-20,80	14,5
1	0,00	-257,22	-20,80	13,8
2	0,00	-257,22	-20,80	13,8
2	-0,33	-263,45	-16,01	12,8
3	-0,33	-263,45	-16,01	12,8
3	-0,67	-267,87	-10,43	11,9
4	-0,67	-267,87	-10,43	11,9
4	-1,00	-270,50	-5,27	11,0
5	-1,00	-270,50	-5,27	11,0
5	-1,43	-271,46	0,78	9,9
6	-1,43	-271,46	0,78	9,9
6	-1,86	-269,97	6,21	8,9
7	-1,86	-269,97	6,21	8,9
7	-2,29	-266,27	11,05	7,9
8	-2,29	-266,27	11,05	7,9
8	-2,71	-260,62	15,31	6,9
9	-2,71	-260,62	15,31	6,9
9	-3,14	-253,26	19,05	6,0
10	-3,14	-253,26	19,05	6,0
10	-3,57	-244,40	22,27	5,1
11	-3,57	-244,40	22,27	5,1
11	-4,00	-234,27	25,01	4,3
12	-4,00	-234,27	25,01	4,3
12	-4,33	-225,44	27,95	3,7
13	-4,33	-225,44	27,95	3,7
13	-4,67	-215,70	30,46	3,2

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
14	-4,67	-215,70	30,46	3,2
14	-5,00	-205,20	32,56	2,6
15	-5,00	-205,20	32,56	2,6
15	-5,47	-186,72	44,62	1,9
16	-5,47	-186,72	44,62	1,9
16	-5,95	-163,43	52,84	1,2
17	-5,95	-163,43	52,84	1,2
17	-6,42	-137,11	57,44	0,5
18	-6,42	-137,11	57,44	0,5
18	-6,90	-109,42	58,61	-0,1
19	-6,90	-109,42	58,61	-0,1
19	-7,38	-81,96	56,51	-0,7
20	-7,38	-81,96	56,51	-0,7
20	-7,85	-56,25	51,25	-1,3
21	-7,85	-56,25	51,25	-1,3
21	-8,32	-33,76	42,93	-1,8
22	-8,32	-33,76	42,93	-1,8
22	-8,80	-15,95	31,60	-2,4
23	-8,80	-15,95	31,60	-2,4
23	-9,28	-4,22	17,28	-2,9
24	-9,28	-4,22	17,28	-2,9
24	-9,75	0,00	0,00	-3,5
Max		-271,46	58,61	14,5
Max, minor nodes incl.		-271,48	58,64	14,5

3.3 Charts of Stresses



3.4 Stresses

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective Stress [kN/m²]	Water stress [kN/m²]	Stat*	Mob** [%]	Effective Stress [kN/m²]	Water stress [kN/m²]	Stat*	Mob** [%]
1	0,25	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
1	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	0,00	0,00	0,00	A		10,40	0,00	P	

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective Stress [kN/m²]	Water stress [kN/m²]	Stat*	Mob** [%]	Effective Stress [kN/m²]	Water stress [kN/m²]	Stat*	Mob** [%]
2	-0,33	0,00	0,00	A		17,00	0,00	-	95
3	-0,33	0,00	0,00	A		17,00	0,00	-	95
3	-0,67	0,00	0,00	A		15,78	0,00	-	62
4	-0,67	0,00	0,00	A		15,78	0,00	-	62
4	-1,00	0,00	0,00	A		14,59	0,00	-	44
5	-1,00	0,00	0,00	A		14,59	0,00	-	44
5	-1,43	0,00	4,20	A		13,13	4,20	-	38
6	-1,43	0,00	4,20	A		13,13	4,20	-	38
6	-1,86	0,00	8,41	A		11,73	8,41	-	33
7	-1,86	0,00	8,41	A		11,73	8,41	-	33
7	-2,29	0,00	12,61	A		10,40	12,61	-	29
8	-2,29	0,00	12,61	A		10,40	12,61	-	29
8	-2,71	0,00	16,82	A		9,14	16,82	-	24
9	-2,71	0,00	16,82	A		9,14	16,82	-	24
9	-3,14	0,00	21,02	A		7,94	21,02	-	21
10	-3,14	0,00	21,02	A		7,94	21,02	-	21
10	-3,57	0,00	25,23	A		6,81	25,23	-	17
11	-3,57	0,00	25,23	A		6,81	25,23	-	17
11	-4,00	0,00	29,43	A		5,74	29,43	-	14
12	-4,00	0,00	29,43	A		9,28	29,43	-	21
12	-4,33	0,00	32,70	A		8,00	32,70	-	16
13	-4,33	0,00	32,70	A		8,00	32,70	-	16
13	-4,67	0,00	35,97	A		6,78	35,97	-	13
14	-4,67	0,00	35,97	A		6,78	35,97	-	13
14	-5,00	0,00	39,24	A		5,61	39,24	-	10
15	-5,00	0,00	39,24	A		29,01	39,24	-	15
15	-5,47	0,00	43,90	A		20,84	43,90	-	9
16	-5,47	0,00	43,90	A		20,84	43,90	-	9
16	-5,95	0,00	48,56	A		13,16	48,56	-	5
17	-5,95	0,00	48,56	A		13,16	48,56	-	5
17	-6,42	0,00	53,22	A		5,90	53,22	-	2
18	-6,42	0,00	53,22	A		5,90	53,22	-	2
18	-6,90	1,01	57,88	-		0,00	57,88	A	
19	-6,90	1,01	57,88	-		0,00	57,88	A	
19	-7,38	7,63	62,54	-	2	0,00	62,54	A	
20	-7,38	7,63	62,54	-	2	0,00	62,54	A	
20	-7,85	14,04	67,20	-	3	0,00	67,20	A	
21	-7,85	14,04	67,20	-	3	0,00	67,20	A	
21	-8,32	20,30	71,86	-	4	0,00	71,86	A	
22	-8,32	20,30	71,86	-	4	0,00	71,86	A	
22	-8,80	26,48	76,52	-	5	0,00	76,52	A	
23	-8,80	26,48	76,52	-	5	0,00	76,52	A	
23	-9,28	32,61	81,18	-	5	0,00	81,18	A	
24	-9,28	32,61	81,18	-	5	0,00	81,18	A	
24	-9,75	38,73	85,84	-	6	0,00	85,84	A	

Stat*
Mob**

Status (A=active, P=passive, Number is branche, 0 is unloading)
Percentage passive mobilized

End of Report