

22-240 ZALK, ZALKERDIJK 19 **berekening funderingspaal**

1. Inleiding

Rengineers 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 A. Blankvoort aan de Zalker█n Zalk. Deze berekening wordt in thans voorliggende memo gepresenteerd.

De berekening is gemaakt met het programma D-Sheet Piling (versie 22.1), 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: Zalk, Zalker█.

Deze locatie ligt volgens de nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4 in windgebied III. Voor de terreinklasse wordt thans veiligheidshalve uitgegaan van onbebouwd terrein.

⇒ Turbinetype: BW80.

⇒ Masthoogte: 25 meter.

⇒ Belastingen op kop funderingspaal:

Voor het berekenen van windturbines met een rotordiameter van 16 meter of kleiner is de norm NEN-EN-IEC 61400-2 van toepassing. De in deze norm gehanteerde SWT-klassen voor de windsnelheid wijken af van de in NEN-EN-1991-1-4 gehanteerde indeling in windgebieden. In bijlage 1 wordt aan de hand van de windgebieden en terreinklassen voor de bij Rengineers gangbare masthoogtes afgeleid welke SWT-klasse van toepassing is voor het ontwerp van de turbine. Voor een masthoogte van 25 meter in windgebied III onbebouwd is dat SWT-klasse 4.

Bij deze SWT-klasse treden voor een mast van 15 meter hoogte volgens de tabel in bijlage 1 de volgende belastingen op de kop van de funderingspaal:

Uiterste grenstoestand UGT: $F_{hor} = 67,3 \text{ kN}$ | $F_{vert} = 109,7 \text{ kN}$ | $M_{kop} = 1.247,6 \text{ kNm}$

Bruikbaarheidsgrenstoestand BGT: $F_{hor} = 49,9 \text{ kN}$ | $F_{vert} = 99,8 \text{ kN}$ | $M_{kop} = 900,4 \text{ kNm}$

⇒ Deformatie-eis kop funderingspaal:

Volgens opgave van Rengineers mag de kop van de buispaal in de bruikbaarheidsgrenstoestand BGT maximaal 25 mm verplaatsen en dient de doorbuiging van de paal elastisch van aard te zijn. Tevens is aangegeven dat de verplaatsing aan de top van de mast, uitgaande van een oneindig stijve mast, maximaal $250 \text{ mm} \times H/30$ mag bedragen, waarin H de masthoogte in meters is. In dit geval dus maximaal 208 mm.

⇒ Grondgegevens:

Voor de berekening is gebruik gemaakt van het grondonderzoek dat op 13 december 2022 door Van der Straaten Geotechniek is uitgevoerd op de plek waar de turbine komt te staan. In bijlage 2 wordt dit grondonderzoek gepresenteerd.

⇒ Berekeningsmethodiek:

Bij geotechnische berekeningen worden vervormingen en verplaatsingen getoetst op basis van BGT-belastingen. Daarom wordt eerst met een BGT-berekening bepaald wat de paalspecificaties dienen te zijn om te voldoen aan het vervormingscriterium. Daarna wordt op basis van die paalspecificaties een UGT-berekening gemaakt om de optredende snedekrachten in de paal te bepalen. Aan de hand van deze snedekrachten wordt de buispaal vervolgens getoetst op sterkte.

3. Overige uitgangspunten

Naast de verstrekte informatie en het in bijlage 2 gepresenteerde grondonderzoek zijn in de berekening de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- ⇒ Beoogde funderingsconstructie: Buispaal Ø1.420x16 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 S235.
- ⇒ 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 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	zand kleihoudend	17	19	25	0	2.000
-0,75	klei zandhoudend	15	15	22,5	0	1.500
-5,00	zand kleihoudend	17	19	25	0	2.000
-6,00	zand	17	19	30	0	2.500
-8,00	zand	17	19	30	0	5.000

5. Karakteristieken buispaal

In thans gemaakte berekening wordt uitgegaan van een buispaal Ø1.420 x 16 mm. In verband met de heibaarheid dient de wanddikte van de paal ten minste 1% van de buitendiameter te bedragen. De paal Ø1.420x16 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 Ø1.419,4 x 15,4 mm resteert. In onderstaande tabel zijn de karakteristieken van de buispaal na corrosie gegeven.

I [cm ⁴]	1.673.918
W [cm ³]	23.685
A [mm ²]	67.926
A_v [mm ²] ^{a)}	43.243

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

6. Berekeningsresultaten

Voor de in- en uitvoer van de BGT-berekening zie bijlage 3. Uit deze berekeningsuitdraai blijkt, dat de berekende kopverplaatsing 20,9 mm bedraagt. Op 0,25 m onder de kop bedraagt de verplaatsing 19,9 mm. Dit betekent dat de hoekverdraaiing aan de kop van de buispaal gelijk is aan $R = \sin^{-1} ((20,9-19,9)/250) = 0,229^\circ$.

De uitdraai van de UGT-berekening wordt in bijlage 4 gepresenteerd. De belangrijkste resultaten van de UGT-berekening zijn:

Moment in buis: 1.321,43 kNm
Dwarskracht in buis: 245,66 kN
Normaalkracht in buis: 109,7 kN (dit is F_{vert})

7. Toetsing sterkte buispaal

De spanningen in het buisprofiel Ø1.420x16 mm na 2 x 0,30 mm corrosie bedragen:

$$\sigma = M/W + N/A = 1.321,43 \text{ kNm} / 23.685 \text{ cm}^3 + 109,7 \text{ kN} / 67.926 \text{ mm}^2 = 58 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = V/A_v = 245,66 \text{ kN} / 43.243 \text{ mm}^2 = 6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} = 59 \text{ N/mm}^2$$

Voor S235 geldt: $\sigma_{\text{max}} = 235 \text{ N/mm}^2$ | $\tau_{\text{max}} = 235/\sqrt{3} = 136 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ buis sterk genoeg.

8. Toetsing vervormingen

De kopverplaatsing van de buispaal mag, zoals in paragraaf 2 is uitgelegd, worden getoetst op basis van de resultaten uit de BGT-berekening. Zoals in paragraaf 6 is vermeld, bedraagt de kopverplaatsing van de buispaal volgens de BGT-berekening 20,9 mm.

Omdat de staalspanning in de buis niet hoger is dan de vloeispanning van het buisstaal kan worden gesteld dat de doorbuiging van de paal elastisch van aard is. Hiermee wordt voldaan aan het door Rengineers opgegeven criterium dat de verplaatsing van de kop van de paal in de BGT maximaal 25 mm mag bedragen als de doorbuiging van de paal elastisch is.

Uitgaande van een oneindig stijve mast is de verplaatsing aan de top van de mast gelijk aan de kopverplaatsing van de paal + $H \times \sin R = 20,9 + 25.000 \times \sin 0,229^\circ = 121 \text{ mm}$. Dit is minder dan 208 mm en voldoet dus aan het door Rengineers opgegeven criterium (maximale verplaatsing aan de top van de mast 208 mm).

9. Conclusie

Een buis Ø1.420x16 mm van 10,00 m lang in staalkwaliteit S235 is geschikt als monopile-fundatie voor de beoogde turbine. De buis hoeft niet geconserveerd te worden.

Uitgangspunt: Paal met de kop 0,25 m boven maaiveld

Kapelle, 30 januari 2023



FuBoConsult
funderings- en bouwputadvies

Bijlagen:

1. Notitie mbt belastingen op turbine obv turbinehoogte, windgebied en terreinklasse
2. Grondonderzoek
3. In- en uitvoer BGT-berekening buispaal
4. In- en uitvoer UGT-berekening buispaal

BIJLAGE 1

BEPALING BELASTINGEN OP KOP FUNDERINGSPAAL TURBINE

Krachtens het besluit activiteiten leefomgeving gelden voor het ontwerp van een windturbine de volgende normen:

- NEN-EN-IEC 61400-1 als $\varnothing_{\text{rotor}} > 16,00 \text{ m}$
- NEN-EN-IEC 61400-2 als $\varnothing_{\text{rotor}} \leq 16,00 \text{ m}$

De diameter van de rotor is bij een turbine BW80 gelijk aan 15,00 m, dus voor het ontwerp van deze turbine dient NEN-EN-IEC 61400-2 gehanteerd te worden.

Op basis van NEN-EN-IEC 61400-2 heeft Rengineers berekend wat de belastingen zijn op de kop van de monopile waarop de turbine BW80 wordt gefundeerd voor diverse masthoogtes bij de diverse SWT-klassen. Deze worden in onderstaande tabellen gepresenteerd. De bovenste tabel betreffen de rekenwaarden en de onderste tabel de karakteristieke waarden van de belastingen op de kop van de funderingspaal.

Funderingsbelastingen BW80 15 - 30m

incl. bel.factoren	ashoogte 15 m			ashoogte 20 m			ashoogte 25 m			ashoogte 30 m		
Windklasse IEC	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm
IEC class 2	101.9	-68.4	1206.5	117.8	-81.5	1788.7	135.3	-109.7	2380.2	150.6	-140.4	3156.6
IEC class 3	79.4	-68.4	947.6	91.7	-81.5	1406.1	105.2	-109.7	1915.0	117.3	-140.4	2457.4
IEC class 4	50.8	-68.4	619.5	58.7	-81.5	921.8	67.3	-109.7	1247.6	75.0	-140.4	1585.5
Bel. factoren	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35

excl. bel.factoren	ashoogte 15 m			ashoogte 20 m			ashoogte 25 m			ashoogte 30 m		
Windklasse IEC	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm
IEC class 2	75.5	-62.2	893.7	87.3	-74.1	1302.0	100.2	-99.8	1754.0	111.5	-127.6	2306.0
IEC class 3	58.8	-62.2	701.9	68.0	-74.1	1019.9	77.9	-99.8	1391.7	86.9	-127.6	1790.2
IEC class 4	37.6	-62.2	458.9	43.5	-74.1	662.4	49.9	-99.8	900.4	55.6	-127.6	1151.3

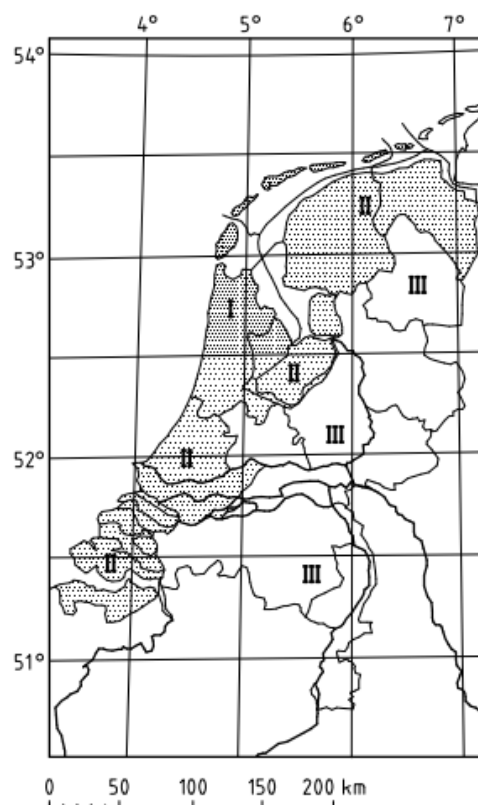
Deze belastingen zijn gebaseerd op de karakteristieke waarden van de extreme windsnelheid met een referentieperiode van 50 jaar (V_{e50}) zoals die in NEN-EN-IEC 61400-2 voor verschillende SWT-klassen worden voorgeschreven. Deze karakteristieke waarden van de extreme windsnelheid worden in onderstaande tabel gepresenteerd.

SWT-klasse	$V_{e50} \text{ [m/s]}$
I	70
II	59,5
III	52,5
IV	42

Voor het toetsen van de verplaatsing van de kop van de funderingspaal wordt een berekening gemaakt op basis van de karakteristieke belastingen, voor het toetsen van de sterkte van de paal wordt de paal berekend op basis van de rekenwaarden van de belastingen.

Om te bepalen welke SWT-klasse van toepassing is voor het ontwerp van de turbine (en dus welke combinaties van belastingen uit bovenstaande tabellen gehanteerd dienen te worden voor het berekenen van de funderingspaal) wordt met behulp van NEN-EN 1991-1-4 gekeken wat de karakteristieke waarde is van de windsnelheid op basis van de locatie waar de turbine komt te staan en de hoogte van de turbine. Daarbij wordt uitgegaan van een referentieperiode van 50 jaar.

Aan de hand van figuur NB.1 wordt gekeken in welk windgebied de turbinelocatie ligt.



Figuur NB.1 — Indeling van Nederland in windgebieden

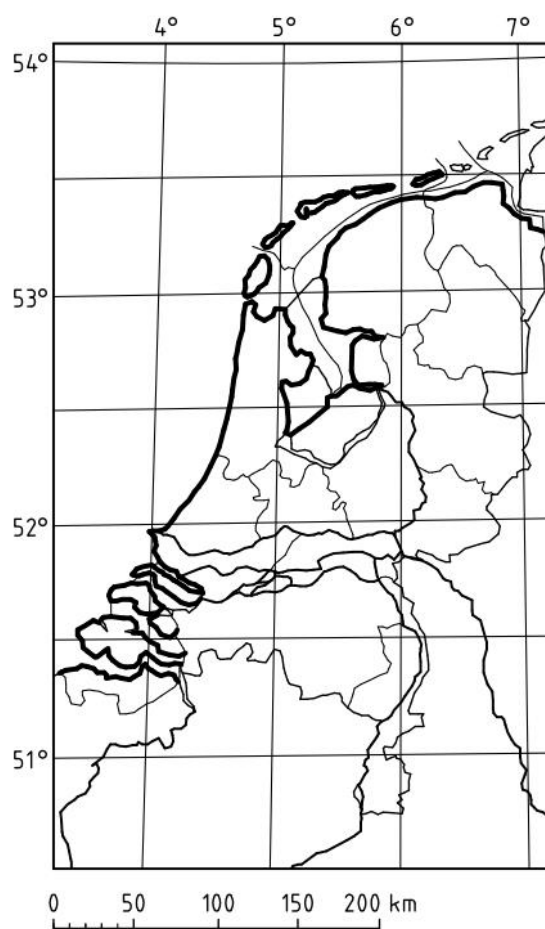
Vervolgens dient te worden gekeken naar de terreinruwheid. In tabel NB.3 – 4.1 worden drie terreincategorieën benoemd.

Tabel NB.3 – 4.1 — Terreincategorieën en terreinparameters

Terreincategorie		z_0 m	z_{min} m
0	Zee of kustgebied aan zee	0,005	1
II	Onbebouwd gebied	0,2	4
III	Bebouwd gebied	0,5	7

Als de turbine zich nabij open zee bevindt in één van de in figuur NB.4 aangegeven mogelijke kustlocaties, dan dient van terreincategorie 0 uitgaan te worden.

In alle andere gevallen wordt voor het ontwerp van de turbine uitgegaan van terreincategorie II onbebouwd omdat de turbine doorgaans buiten de bebouwde kom worden geplaatst.



Figuur NB.4 — Mogelijke locaties met terreincategorie 0

Aan de hand van hetgeen in NEN-EN 1991-1-4 en de daarbij horende nationale bijlage is omschreven kan bepaald worden wat de extreme stuwdruk is. Dit resulteert voor de bij Rengineers in gebruik zijnde turbinehoogtes voor een referentieperiode van 50 jaar de waarden die in onderstaande tabel pagina worden gepresenteerd.

Karakteristieke waarde extreme stuwdruk q_p [kN/m²]

windgebied en terreinruwheid	H = 15 m	H = 20 m	H = 25 m	H = 30 m
I, kust	1,71	1,80	1,88	1,94
I, onbebouwd	1,16	1,27	1,36	1,43
II, kust	1,43	1,51	1,57	1,63
II, onbebouwd	0,98	1,07	1,14	1,20
III onbebouwd	0,80	0,88	0,94	0,99

Voor het verband tussen windsnelheid en stuwdruk geldt: $q_p = m \cdot v^2 / 2$.

Of, anders opgeschreven: $v = \sqrt{(q_p \times 2 / m)}$.

In deze formules is m de dichtheid van lucht in ton/m³, deze bedraagt 1,25 kg/m³ ofwel 0,00125 ton/m³.

Op basis van de hierboven genoemde stuwdrukken is met de formule $v = \sqrt{(q_p \times 2 / m)}$ berekend wat de bij de betreffende stuwdruk behorende windsnelheid is. De berekende windsnelheden worden in de tabel op de volgende pagina gepresenteerd.

Karakteristieke waarde extreme windsnelheid v [m/s]

windgebied en terreinruwheid	H = 15 m	H = 20 m	H = 25 m	H = 30 m
I, kust	52,3	53,7	54,8	55,7
I, onbebouwd	43,1	45,1	46,6	47,8
II, kust	47,8	49,2	50,1	51,1
II, onbebouwd	39,6	41,4	42,7	43,8
III onbebouwd	35,8	37,5	38,8	39,8

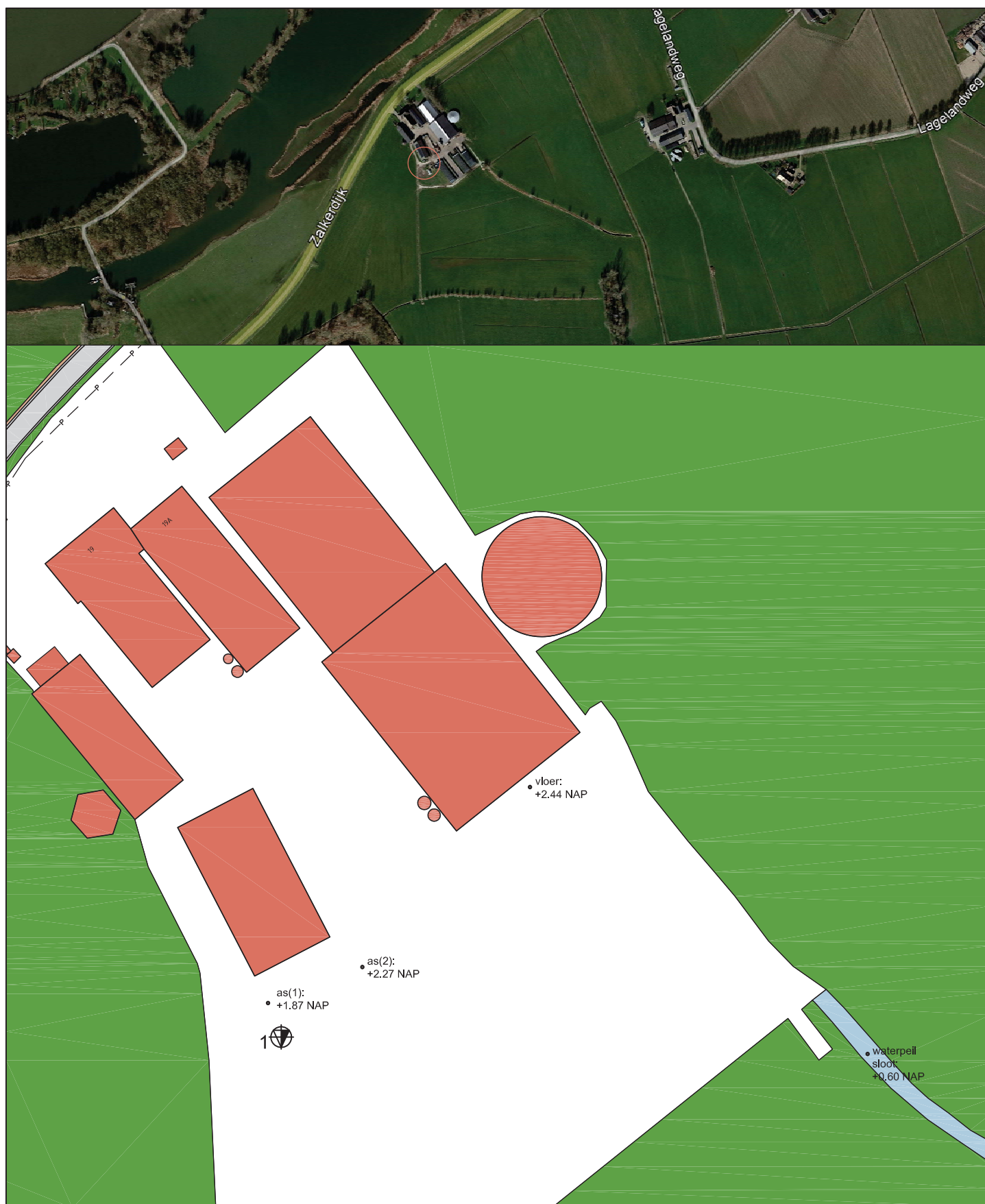
Door deze karakteristieke waarden van de extreme windsnelheid te vergelijken met de windsnelheden die bij de SWT-klassen in NEN-EN-IEC 61400-2 worden genoemd kan worden bepaald in welk windgebied bij welke terreinklasse en masthoogte welke SWT-klasse van toepassing is voor het ontwerp van de paalfundering. Dit is in onderstaande tabel weergegeven.

Van toepassing zijnde SWT-klasse

windgebied en terreinruwheid	H = 15 m	H = 20 m	H = 25 m	H = 30 m
I, kust	SWT 3	SWT 2	SWT 2	SWT 2
I, onbebouwd	SWT 3	SWT 3	SWT 3	SWT 3
II, kust	SWT 3	SWT 3	SWT 3	SWT 3
II, onbebouwd	SWT 4	SWT 4	SWT 3	SWT 3
III onbebouwd	SWT 4	SWT 4	SWT 4	SWT 4

2 december 2022

BIJLAGE 2



Opdrachtgever: Rengineers

Plaats: Zalk

Locatie: Zalk [REDACTED]

Projectnr.: 220798

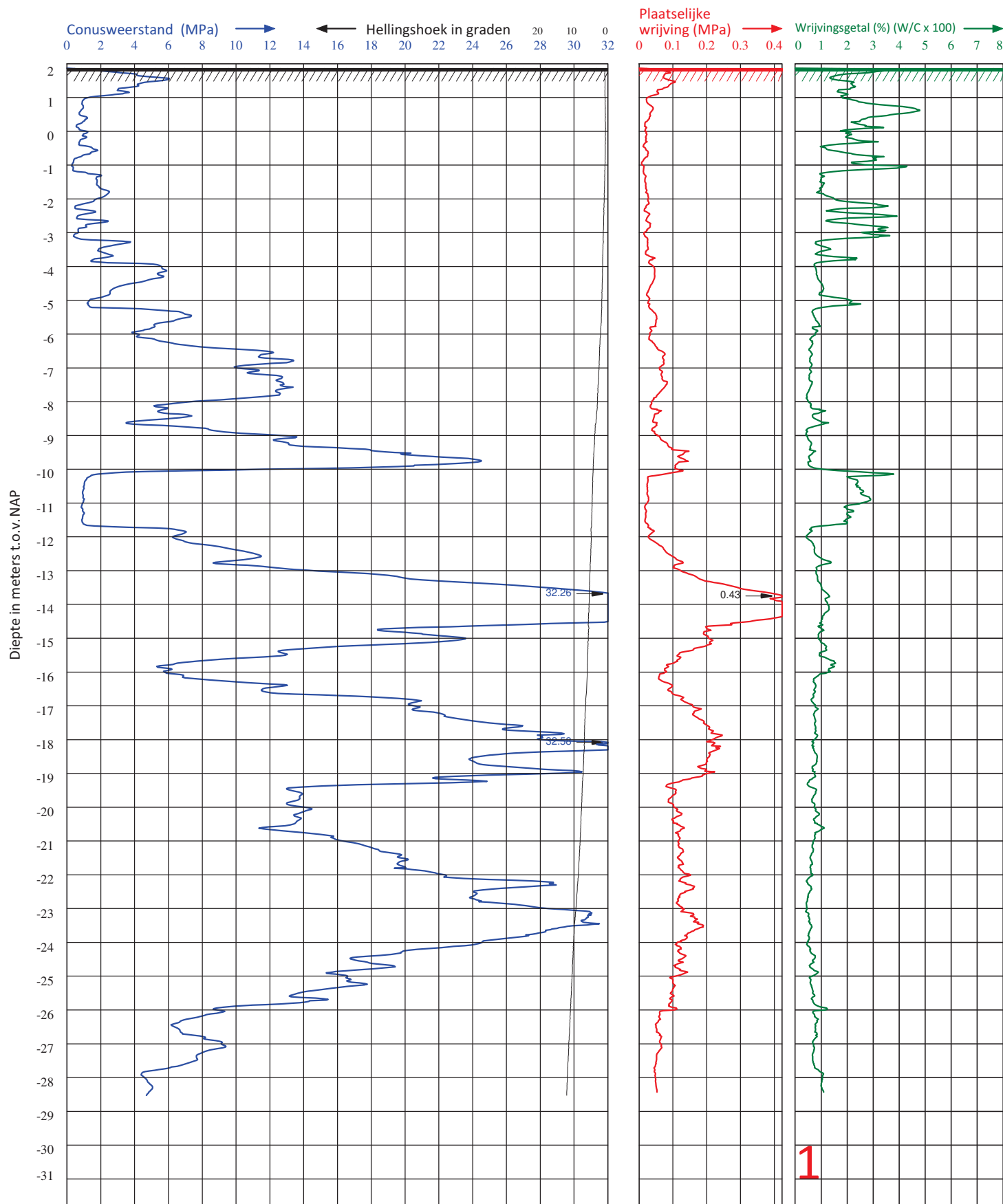
Getekend: md

Schaal: 1:1000

Datum: 13 december 2022



VAN DER STRAATEN
GEOTECHNIEK B.V.



Van der Straaten Geotechniek B.V.		Telefoon (003) 82510	E-mail : geotechn@van-der-straten.nl
PLAATS : ZALK	HOOGTE MAAVELD : 1.87 m1 t.o.v. NAP	CONUS TYPE : I-CFY-15	
LOCATIE : ZALKE 9	GRONDWATERSTAND : m1- MAAVELD	ID CONUS : 181004	
OPDRACHTGEVER : RENGEERS	DATUM : 13-12-2022	SONDERING VOLGENS : - NEN-EN-ISO 22476-1	
PROJECTNUMMER : 220798	TIJD : 12:02	- TOEPASSINGSKLASSE 2	
ID SONDERING : 1	X-COÖRDINAAT (RD) : 195369.29	Y-COÖRDINAAT (RD) : 503174.88	

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1

Waterpasstaat

Projectnummer:

220798

Omschrijving meetpunt	X-coördinaat	Y-coördinaat	Hoogte maaiveld (in m' NAP)
1	195369.290	503174.879	1.87
as(1)	195366.723	503181.420	1.87
as(2)	195384.910	503188.365	2.27
vloer	195417.253	503223.089	2.44
waterpeil sloot	195482.394	503171.610	0.60

BIJLAGE 3

Report for D-Sheet Piling 22.1

Design of Diaphragm and Sheet Pile Walls
Developed by Deltares

Company: FuBoConsult
funderings- en bouwputadvies

Date of report: 30-1-2023
Time of report: 11:03:10
Report with version: 22.1.1.35825

Date of calculation: 30-1-2023
Time of calculation: 11:02:28
Calculated with version: 22.1.1.35825

File name: 22240-BGT

Project identification: Zalk, Zalkerd XXXXXXXXXX
BW80 H=25 WGIII >>> SWT4
BGT-berekening

1 Summary

1.1 Overview of Maxima

Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]
20,9	-950,47	174,10	0,0	5,3

2 Input Data

2.1 General Input Data

Model	Single pile; Pile loaded by forces
Unit weight of water	9,81 kN/m ³
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]
Ø1420x16 na 0,...	-9,75	0,25	Steel	1,42

2.2.2 Stiffness EI (elastic behaviour)

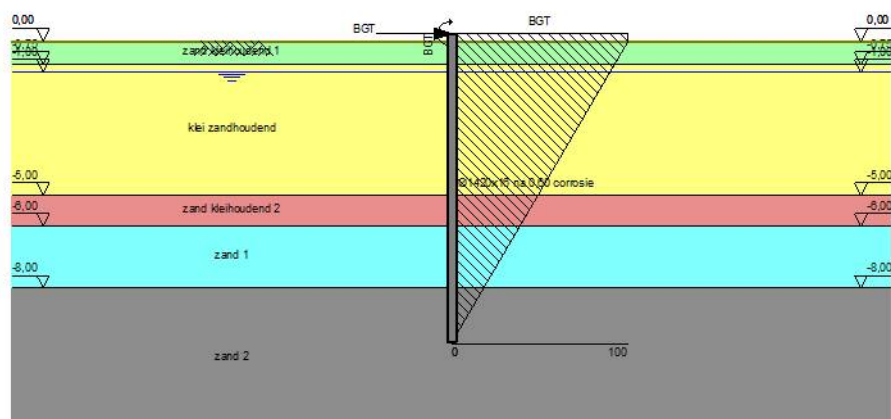
Section name	Elastic stiffness EI [kNm ²]	Red. factor on EI [-]	Corrected elas. stiffness EI [kNm ²]	Note to reduction factor
Ø1420x16 na 0,...	3,5152E+06	1,00	3,5152E+06	

2.2.3 Maximum Allowable Moments

Section name	Mr;char;el [kNm]	Modification factor [-]	Material factor [-]	Red. factor allow. moment [-]	Mr;d;el [kNm]
Ø1420x16 na 0,...	5542,71	1,00	1,00	1,00	5542,71

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]
BGT	99,80	99,80	99,80	0,00

2.5 Horizontal Forces

Name	Level [m]	Load [kN]
BGT	0,25	49,90

2.6 Moments

Name	Level [m]	Moment [kNm]
BGT	0,25	-900,40

2.7 Water Level

Water level: -1,00 [m]

2.8 Surface

Surface level: 0,00 [m]

2.9 Soil Material Properties

Layer name	Level [m]	Unit weight		Cohesion [kN/m ²]	Friction angle phi [°]	Brinch Hansen used
		Unsat [kN/m ³]	Sat. [kN/m ³]			
zand kleihouden...	0,00	17,00	19,00	0,00	25,00	Yes
klei zandhoudend	-0,75	15,00	15,00	0,00	22,50	Yes
zand kleihouden...	-5,00	17,00	19,00	0,00	25,00	Yes
zand 1	-6,00	17,00	19,00	0,00	30,00	Yes
zand 2	-8,00	17,00	19,00	0,00	30,00	Yes

Layer name	Level [m]	Earth pressure coefficients			Additional pore pressure	
		Active [-]	Neutral [-]	Passive [-]	Top [kN/m ²]	Bottom [kN/m ²]
zand kleihouden...	0,00	0,00	0,00	3,53	0,00	0,00
klei zandhoudend	-0,75	0,00	0,00	3,93	0,00	0,00
zand kleihouden...	-5,00	0,00	0,00	5,65	0,00	0,00
zand 1	-6,00	0,00	0,00	9,20	0,00	0,00
zand 2	-8,00	0,00	0,00	9,91	0,00	0,00

2.10 Soil Material Properties Calculated Using Brinch Hansen

Layer name	Level [m]	Fictive cohesion [kN/m ²]
zand kleihouden...	0,00	0,00
klei zandhoudend	-0,75	0,00
zand kleihouden...	-5,00	0,00
zand 1	-6,00	0,00
zand 2	-8,00	0,00

2.11 Modulus of Subgrade Reaction

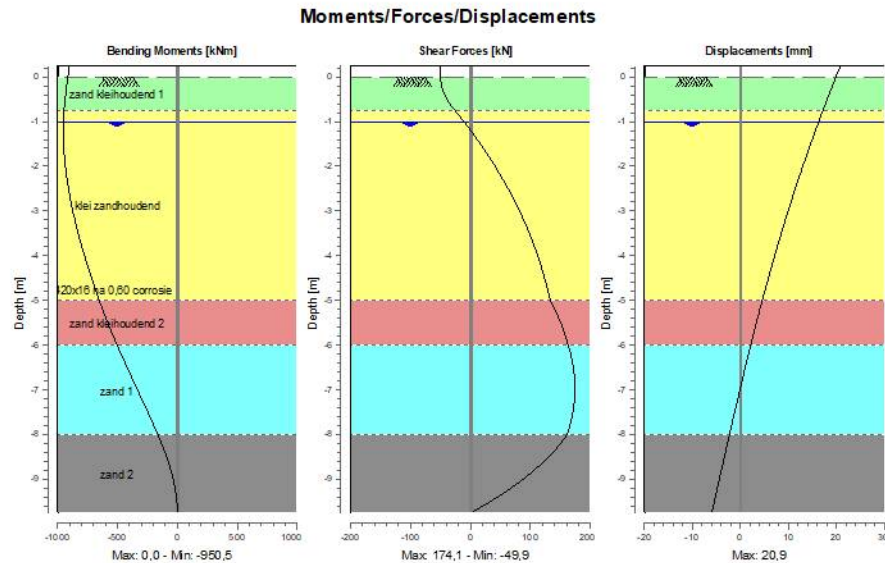
Layer name	Level [m]	Ménard used	E-Mod Ménard [kN/m ²]	Soil type Ménard	Branch 1	
					Top [kN/m ³]	Bottom [kN/m ³]
zand kleihouden...	0,00	Yes	2000,00	Sand	6276,93	6276,93

Layer name	Level [m]	Ménard used	E-Mod Ménard [kN/m²]	Soil type Ménard	Branch 1	
					Top [kN/m³]	Bottom [kN/m³]
klei zandhoudend	-0,75	Yes	1500,00	Clay	2500,46	2500,46
zand kleihouden...	-5,00	Yes	2000,00	Sand	6276,93	6276,93
zand 1	-6,00	Yes	2500,00	Sand	7846,16	7846,16
zand 2	-8,00	Yes	5000,00	Sand	15692,31	15692,31

3 Calculation Results

Number of iterations: 3

3.1 Charts of Moments, Forces and Displacements

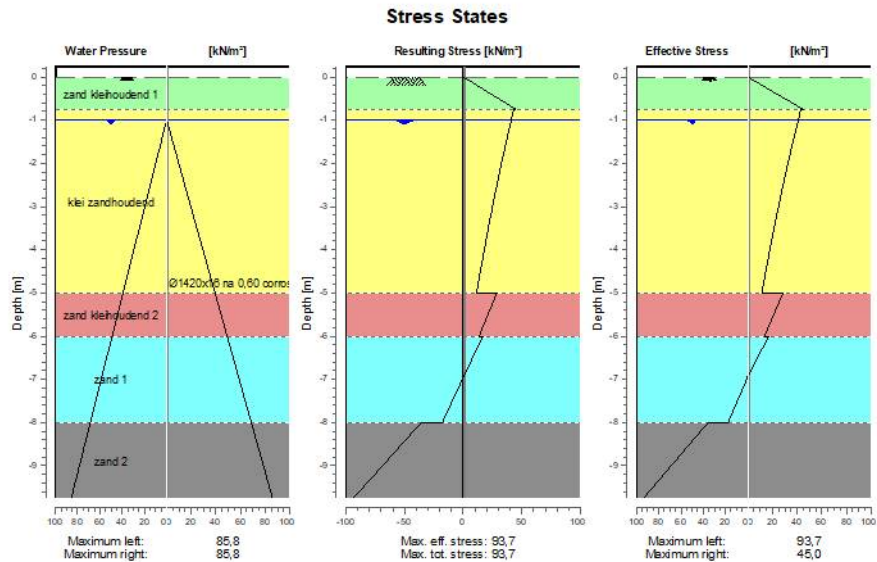


3.2 Moments, Forces and Displacements

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
1	0,25	-900,40	-49,90	20,9
1	0,00	-912,97	-49,90	19,9
2	0,00	-912,97	-49,90	19,9
2	-0,38	-931,07	-43,91	18,6
3	-0,38	-931,07	-43,91	18,6
3	-0,75	-944,67	-25,94	17,2
4	-0,75	-944,67	-25,94	17,2
4	-1,00	-949,35	-11,05	16,3
5	-1,00	-949,35	-11,05	16,3
5	-1,44	-948,84	13,54	14,8
6	-1,44	-948,84	13,54	14,8
6	-1,89	-937,91	35,80	13,4
7	-1,89	-937,91	35,80	13,4
7	-2,33	-917,59	55,79	12,0
8	-2,33	-917,59	55,79	12,0
8	-2,78	-888,85	73,62	10,6
9	-2,78	-888,85	73,62	10,6
9	-3,22	-852,65	89,35	9,3
10	-3,22	-852,65	89,35	9,3
10	-3,67	-809,90	103,06	8,1
11	-3,67	-809,90	103,06	8,1
11	-4,11	-761,48	114,83	6,9
12	-4,11	-761,48	114,83	6,9
12	-4,56	-708,24	124,73	5,7
13	-4,56	-708,24	124,73	5,7
13	-5,00	-651,00	132,82	4,6

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
14	-5,00	-651,00	132,82	4,6
14	-5,33	-604,63	145,17	3,7
15	-5,33	-604,63	145,17	3,7
15	-5,67	-554,56	155,11	2,9
16	-5,67	-554,56	155,11	2,9
16	-6,00	-501,56	162,70	2,2
17	-6,00	-501,56	162,70	2,2
17	-6,40	-434,86	170,28	1,2
18	-6,40	-434,86	170,28	1,2
18	-6,80	-365,94	173,81	0,3
19	-6,80	-365,94	173,81	0,3
19	-7,20	-296,39	173,36	-0,5
20	-7,20	-296,39	173,36	-0,5
20	-7,60	-227,81	169,02	-1,4
21	-7,60	-227,81	169,02	-1,4
21	-8,00	-161,73	160,82	-2,3
22	-8,00	-161,73	160,82	-2,3
22	-8,44	-96,89	134,16	-3,2
23	-8,44	-96,89	134,16	-3,2
23	-8,88	-45,69	98,45	-4,1
24	-8,88	-45,69	98,45	-4,1
24	-9,31	-12,08	53,72	-5,0
25	-9,31	-12,08	53,72	-5,0
25	-9,75	0,00	0,00	-6,0
Max		-949,35	173,81	20,9
Max, minor nodes incl.		-950,47	174,10	20,9

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	-	

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	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	0,00	0,00	0,00	A		0,00	0,00	P	
2	-0,38	0,00	0,00	A		22,50	0,00	P	
3	-0,38	0,00	0,00	A		22,50	0,00	P	
3	-0,75	0,00	0,00	A		44,99	0,00	P	
4	-0,75	0,00	0,00	A		43,05	0,00	-	86
4	-1,00	0,00	0,00	A		40,86	0,00	-	63
5	-1,00	0,00	0,00	A		40,86	0,00	-	63
5	-1,44	0,00	4,36	A		37,09	4,36	-	50
6	-1,44	0,00	4,36	A		37,09	4,36	-	50
6	-1,89	0,00	8,72	A		33,45	8,72	-	40
7	-1,89	0,00	8,72	A		33,45	8,72	-	40
7	-2,33	0,00	13,08	A		29,94	13,08	-	33
8	-2,33	0,00	13,08	A		29,94	13,08	-	33
8	-2,78	0,00	17,44	A		26,56	17,44	-	26
9	-2,78	0,00	17,44	A		26,56	17,44	-	26
9	-3,22	0,00	21,80	A		23,31	21,80	-	21
10	-3,22	0,00	21,80	A		23,31	21,80	-	21
10	-3,67	0,00	26,16	A		20,17	26,16	-	17
11	-3,67	0,00	26,16	A		20,17	26,16	-	17
11	-4,11	0,00	30,52	A		17,15	30,52	-	13
12	-4,11	0,00	30,52	A		17,15	30,52	-	13
12	-4,56	0,00	34,88	A		14,24	34,88	-	10
13	-4,56	0,00	34,88	A		14,24	34,88	-	10
13	-5,00	0,00	39,24	A		11,42	39,24	-	8
14	-5,00	0,00	39,24	A		28,67	39,24	-	14
14	-5,33	0,00	42,51	A		23,52	42,51	-	10
15	-5,33	0,00	42,51	A		23,52	42,51	-	10
15	-5,67	0,00	45,78	A		18,49	45,78	-	8
16	-5,67	0,00	45,78	A		18,49	45,78	-	8
16	-6,00	0,00	49,05	A		13,58	49,05	-	5
17	-6,00	0,00	49,05	A		16,97	49,05	-	4
17	-6,40	0,00	52,97	A		9,75	52,97	-	2
18	-6,40	0,00	52,97	A		9,75	52,97	-	2
18	-6,80	0,00	56,90	A		2,70	56,90	-	1
19	-6,80	0,00	56,90	A		2,70	56,90	-	1
19	-7,20	4,23	60,82	-	1	0,00	60,82	A	
20	-7,20	4,23	60,82	-	1	0,00	60,82	A	
20	-7,60	11,06	64,75	-	2	0,00	64,75	A	
21	-7,60	11,06	64,75	-	2	0,00	64,75	A	
21	-8,00	17,80	68,67	-	3	0,00	68,67	A	
22	-8,00	35,60	68,67	-	6	0,00	68,67	A	
22	-8,44	50,21	72,96	-	7	0,00	72,96	A	
23	-8,44	50,21	72,96	-	7	0,00	72,96	A	
23	-8,88	64,74	77,25	-	9	0,00	77,25	A	
24	-8,88	64,74	77,25	-	9	0,00	77,25	A	
24	-9,31	79,24	81,55	-	10	0,00	81,55	A	
25	-9,31	79,24	81,55	-	10	0,00	81,55	A	
25	-9,75	93,72	85,84	-	12	0,00	85,84	A	

Stat*

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

Mob**

Percentage passive mobilized

End of Report

BIJLAGE 4

Report for D-Sheet Piling 22.1

Design of Diaphragm and Sheet Pile Walls
Developed by Deltares

Company: FuBoConsult
funderings- en bouwputadvies

Date of report: 30-1-2023
Time of report: 11:05:24
Report with version: 22.1.1.35825

Date of calculation: 30-1-2023
Time of calculation: 11:04:56
Calculated with version: 22.1.1.35825

File name: 22240-UGT

Project identification: Zalk, Zalk [REDACTED]
BW80 H=25 WGIII >>> SWT4
UGT-berekening

1 Summary

1.1 Overview of Maxima

Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]
30,0	-1321,43	245,66	0,0	7,4

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]
Ø1420x16 na 0,...	-9,75	0,25	Steel	1,42

2.2.2 Stiffness EI (elastic behaviour)

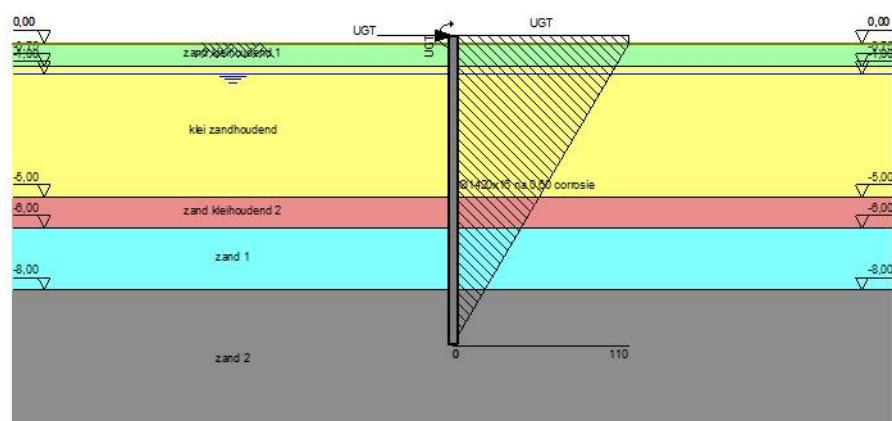
Section name	Elastic stiffness EI [kNm ²]	Red. factor on EI [-]	Corrected elas. stiffness EI [kNm ²]	Note to reduction factor
Ø1420x16 na 0,...	3,5152E+06	1,00	3,5152E+06	

2.2.3 Maximum Allowable Moments

Section name	Mr;char;el [kNm]	Modification factor [-]	Material factor [-]	Red. factor allow. moment [-]	Mr;d;el [kNm]
Ø1420x16 na 0,...	5542,71	1,00	1,00	1,00	5542,71

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]
UGT	109,70	109,70	109,70	0,00

2.5 Horizontal Forces

Name	Level [m]	Load [kN]
UGT	0,25	67,30

2.6 Moments

Name	Level [m]	Moment [kNm]
UGT	0,25	-1247,60

2.7 Water Level

Water level: -1,00 [m]

2.8 Surface

Surface level: 0,00 [m]

2.9 Soil Material Properties

Layer name	Level [m]	Unit weight		Cohesion [kN/m ²]	Friction angle phi [°]	Brinch Hansen used
		Unsat [kN/m ³]	Sat. [kN/m ³]			
zand kleihouden...	0,00	17,00	19,00	0,00	25,00	Yes
klei zandhoudend	-0,75	15,00	15,00	0,00	22,50	Yes
zand kleihouden...	-5,00	17,00	19,00	0,00	25,00	Yes
zand 1	-6,00	17,00	19,00	0,00	30,00	Yes
zand 2	-8,00	17,00	19,00	0,00	30,00	Yes

Layer name	Level [m]	Earth pressure coefficients			Additional pore pressure	
		Active [-]	Neutral [-]	Passive [-]	Top [kN/m ²]	Bottom [kN/m ²]
zand kleihouden...	0,00	0,00	0,00	3,53	0,00	0,00
klei zandhoudend	-0,75	0,00	0,00	3,93	0,00	0,00
zand kleihouden...	-5,00	0,00	0,00	5,65	0,00	0,00
zand 1	-6,00	0,00	0,00	9,20	0,00	0,00
zand 2	-8,00	0,00	0,00	9,91	0,00	0,00

2.10 Soil Material Properties Calculated Using Brinch Hansen

Layer name	Level [m]	Fictive cohesion [kN/m ²]
zand kleihouden...	0,00	0,00
klei zandhoudend	-0,75	0,00
zand kleihouden...	-5,00	0,00
zand 1	-6,00	0,00
zand 2	-8,00	0,00

2.11 Modulus of Subgrade Reaction

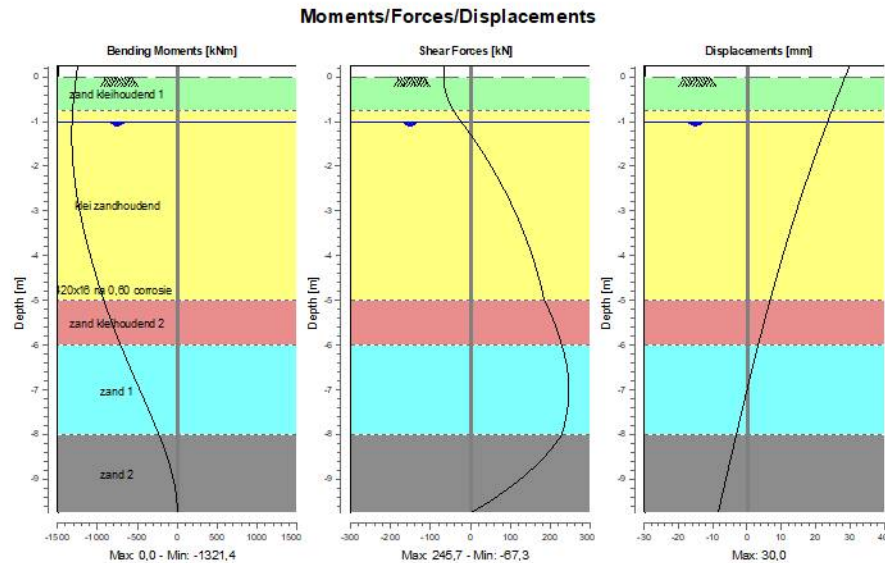
Layer name	Level [m]	Ménard used	E-Mod Ménard [kN/m ²]	Soil type Ménard	Branch 1	
					Top [kN/m ³]	Bottom [kN/m ³]
zand kleihouden...	0,00	Yes	2000,00	Sand	6276,93	6276,93

Layer name	Level [m]	Ménard used	E-Mod Ménard [kN/m²]	Soil type Ménard	Branch 1	
					Top [kN/m³]	Bottom [kN/m³]
klei zandhoudend	-0,75	Yes	1500,00	Clay	2500,46	2500,46
zand kleihouden...	-5,00	Yes	2000,00	Sand	6276,93	6276,93
zand 1	-6,00	Yes	2500,00	Sand	7846,16	7846,16
zand 2	-8,00	Yes	5000,00	Sand	15692,31	15692,31

3 Calculation Results

Number of iterations: 3

3.1 Charts of Moments, Forces and Displacements

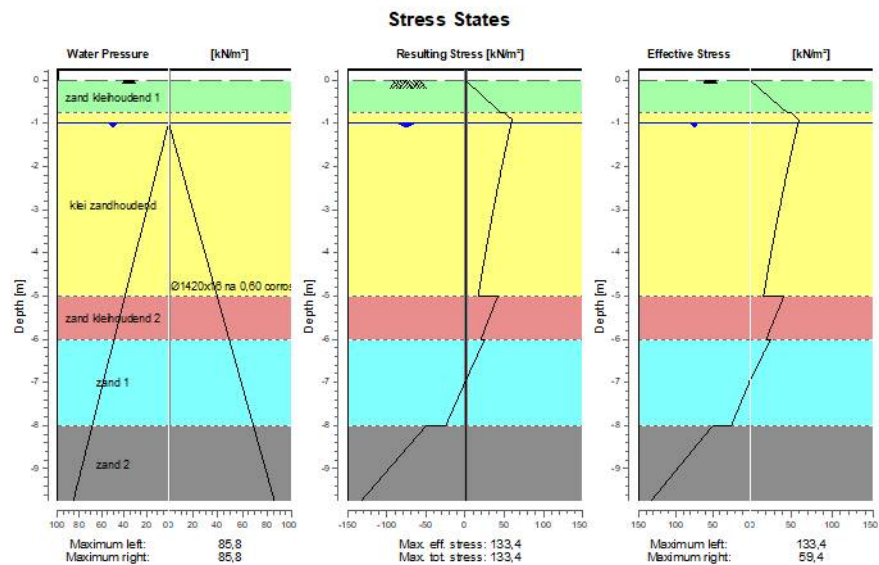


3.2 Moments, Forces and Displacements

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
1	0,25	-1247,60	-67,30	30,0
1	0,00	-1264,57	-67,30	28,6
2	0,00	-1264,57	-67,30	28,6
2	-0,38	-1289,28	-61,31	26,7
3	-0,38	-1289,28	-61,31	26,7
3	-0,75	-1309,47	-43,34	24,7
4	-0,75	-1309,47	-43,34	24,7
4	-1,00	-1318,00	-23,33	23,5
5	-1,00	-1318,00	-23,33	23,5
5	-1,44	-1320,58	12,06	21,4
6	-1,44	-1320,58	12,06	21,4
6	-1,89	-1308,17	44,11	19,3
7	-1,89	-1308,17	44,11	19,3
7	-2,33	-1282,22	72,93	17,3
8	-2,33	-1282,22	72,93	17,3
8	-2,78	-1244,13	98,65	15,3
9	-2,78	-1244,13	98,65	15,3
9	-3,22	-1195,27	121,38	13,5
10	-3,22	-1195,27	121,38	13,5
10	-3,67	-1136,94	141,22	11,7
11	-3,67	-1136,94	141,22	11,7
11	-4,11	-1070,40	158,27	9,9
12	-4,11	-1070,40	158,27	9,9
12	-4,56	-996,86	172,65	8,3
13	-4,56	-996,86	172,65	8,3
13	-5,00	-917,51	184,43	6,7

Segment number	Level [m]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Displacement [mm]
14	-5,00	-917,51	184,42	6,7
14	-5,33	-852,99	202,46	5,5
15	-5,33	-852,99	202,46	5,5
15	-5,67	-783,04	217,03	4,3
16	-5,67	-783,04	217,03	4,3
16	-6,00	-708,78	228,23	3,2
17	-6,00	-708,78	228,22	3,2
17	-6,40	-615,08	239,56	1,9
18	-6,40	-615,08	239,56	1,9
18	-6,80	-518,01	245,06	0,6
19	-6,80	-518,01	245,06	0,6
19	-7,20	-419,88	244,86	-0,7
20	-7,20	-419,88	244,86	-0,7
20	-7,60	-322,95	239,03	-1,9
21	-7,60	-322,95	239,03	-1,9
21	-8,00	-229,45	227,67	-3,2
22	-8,00	-229,45	227,67	-3,2
22	-8,44	-137,58	190,25	-4,5
23	-8,44	-137,58	190,25	-4,5
23	-8,88	-64,93	139,80	-5,8
24	-8,88	-64,93	139,80	-5,8
24	-9,31	-17,18	76,38	-7,2
25	-9,31	-17,18	76,38	-7,2
25	-9,75	0,00	0,00	-8,5
Max		-1320,58	245,06	30,0
Max, minor nodes incl.		-1321,43	245,66	30,0

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	-	

Node number	Level [m]	Left				Right			
		Effective Stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob** [%]	Effective Stress [kN/m ²]	Water stress [kN/m ²]	Stat*	Mob** [%]
1	0,00	0,00	0,00	-		0,00	0,00	-	
2	0,00	0,00	0,00	A		0,00	0,00	P	
2	-0,38	0,00	0,00	A		22,50	0,00	P	
3	-0,38	0,00	0,00	A		22,50	0,00	P	
3	-0,75	0,00	0,00	A		44,99	0,00	P	
4	-0,75	0,00	0,00	A		50,09	0,00	P	
4	-1,00	0,00	0,00	A		58,77	0,00	-	91
5	-1,00	0,00	0,00	A		58,77	0,00	-	91
5	-1,44	0,00	4,36	A		53,39	4,36	-	72
6	-1,44	0,00	4,36	A		53,39	4,36	-	72
6	-1,89	0,00	8,72	A		48,20	8,72	-	58
7	-1,89	0,00	8,72	A		48,20	8,72	-	58
7	-2,33	0,00	13,08	A		43,18	13,08	-	47
8	-2,33	0,00	13,08	A		43,18	13,08	-	47
8	-2,78	0,00	17,44	A		38,35	17,44	-	38
9	-2,78	0,00	17,44	A		38,35	17,44	-	38
9	-3,22	0,00	21,80	A		33,69	21,80	-	31
10	-3,22	0,00	21,80	A		33,69	21,80	-	31
10	-3,67	0,00	26,16	A		29,20	26,16	-	25
11	-3,67	0,00	26,16	A		29,20	26,16	-	25
11	-4,11	0,00	30,52	A		24,87	30,52	-	19
12	-4,11	0,00	30,52	A		24,87	30,52	-	19
12	-4,56	0,00	34,88	A		20,69	34,88	-	15
13	-4,56	0,00	34,88	A		20,69	34,88	-	15
13	-5,00	0,00	39,24	A		16,65	39,24	-	11
14	-5,00	0,00	39,24	A		41,81	39,24	-	20
14	-5,33	0,00	42,51	A		34,42	42,51	-	15
15	-5,33	0,00	42,51	A		34,42	42,51	-	15
15	-5,67	0,00	45,78	A		27,19	45,78	-	11
16	-5,67	0,00	45,78	A		27,19	45,78	-	11
16	-6,00	0,00	49,05	A		20,13	49,05	-	8
17	-6,00	0,00	49,05	A		25,16	49,05	-	6
17	-6,40	0,00	52,97	A		14,79	52,97	-	3
18	-6,40	0,00	52,97	A		14,79	52,97	-	3
18	-6,80	0,00	56,90	A		4,63	56,90	-	1
19	-6,80	0,00	56,90	A		4,63	56,90	-	1
19	-7,20	5,33	60,82	-	1	0,00	60,82	A	
20	-7,20	5,33	60,82	-	1	0,00	60,82	A	
20	-7,60	15,15	64,75	-	3	0,00	64,75	A	
21	-7,60	15,15	64,75	-	3	0,00	64,75	A	
21	-8,00	24,85	68,67	-	4	0,00	68,67	A	
22	-8,00	49,70	68,67	-	8	0,00	68,67	A	
22	-8,44	70,74	72,96	-	10	0,00	72,96	A	
23	-8,44	70,74	72,96	-	10	0,00	72,96	A	
23	-8,88	91,66	77,25	-	13	0,00	77,25	A	
24	-8,88	91,66	77,25	-	13	0,00	77,25	A	
24	-9,31	112,52	81,55	-	15	0,00	81,55	A	
25	-9,31	112,52	81,55	-	15	0,00	81,55	A	
25	-9,75	133,36	85,84	-	17	0,00	85,84	A	

Stat*

Mob**

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

Percentage passive mobilized

End of Report