



Windplan Blauw

Ballast Nedam

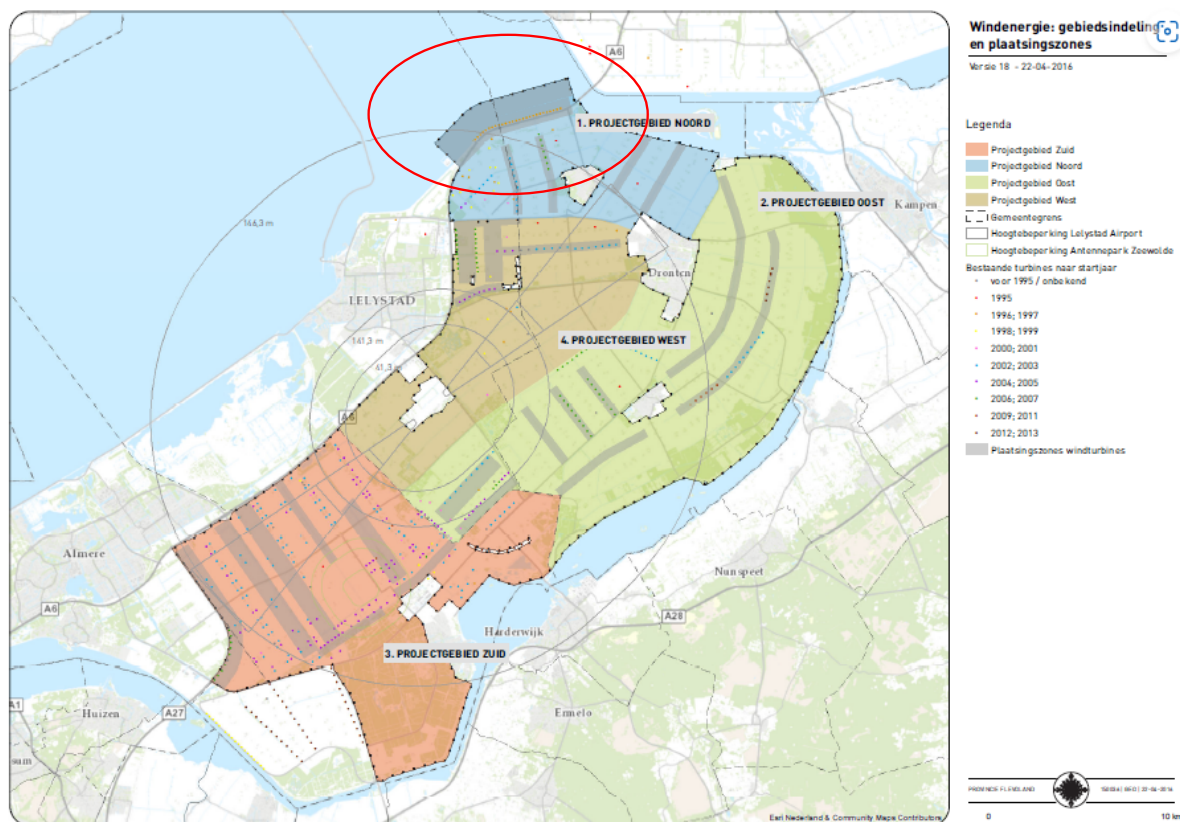
05-09-2022



Inhoud

1. Tenderfase
2. Omgeving
3. Ontwerp
4. Uitvoering

Windplan Blauw



Feiten en cijfers

- ▶ Beoogd aantal windturbines: 61
- ▶ Aantal te verwijderen windturbines: 74
- ▶ Turbinetype op het land: 5,6 MW, klik [hier](#) voor meer informatie
- ▶ Turbinetype op het water: 5,5 MW, klik [hier](#) voor meer informatie
- ▶ Start bouw op land: 2021
- ▶ Start bouw IJsselmeer: 2022
- ▶ Plaatsing turbines: op land april-september 2022, in het IJsselmeer april-augustus 2023
- ▶ Totaal aantal MW: circa 340 MW
- ▶ Genoeg stroom voor het huishoudelijke elektriciteitsverbruik van: 450.000 huishoudens (ca 1 miljoen Nederlanders)
- ▶ Vermeden uitstoot: ca. 700.000 ton CO₂

Windplan Blauw



Ontwikkelaars



Projectbegeleider



Adviseur ontwerp



Turbine leverancier



Aannemer fundatie & kabelscope

Locatie

24 Windturbines

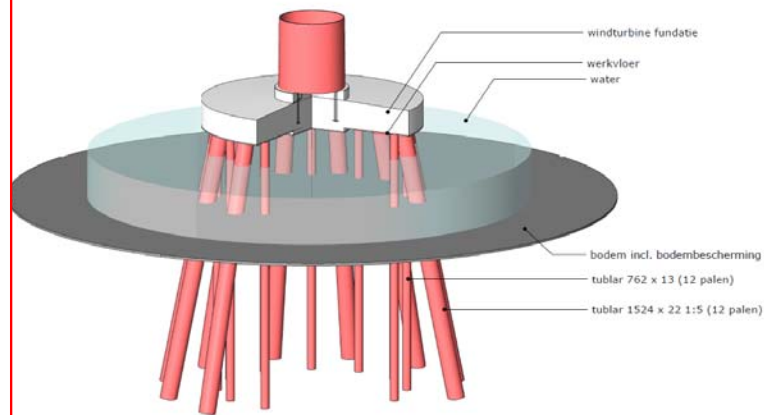
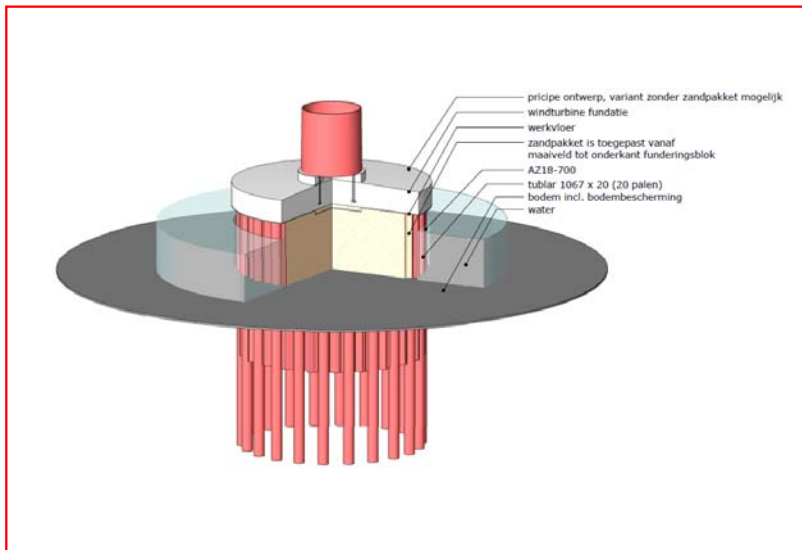


Werkzaamheden op het water:

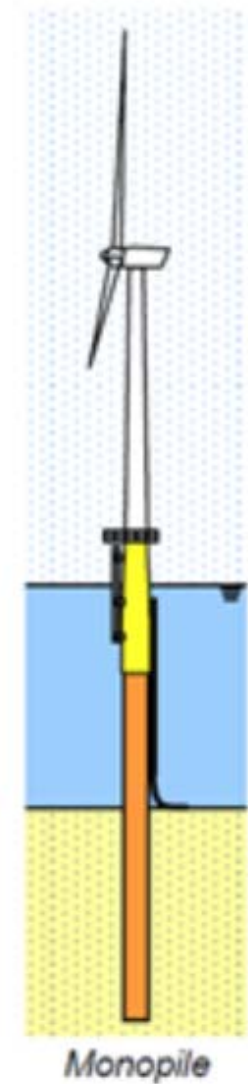
- Slechte bereikbaarheid (CTV)
- Weersafhankelijk

Gezocht naar snelle uitvoermethodes
(prefabriceren)

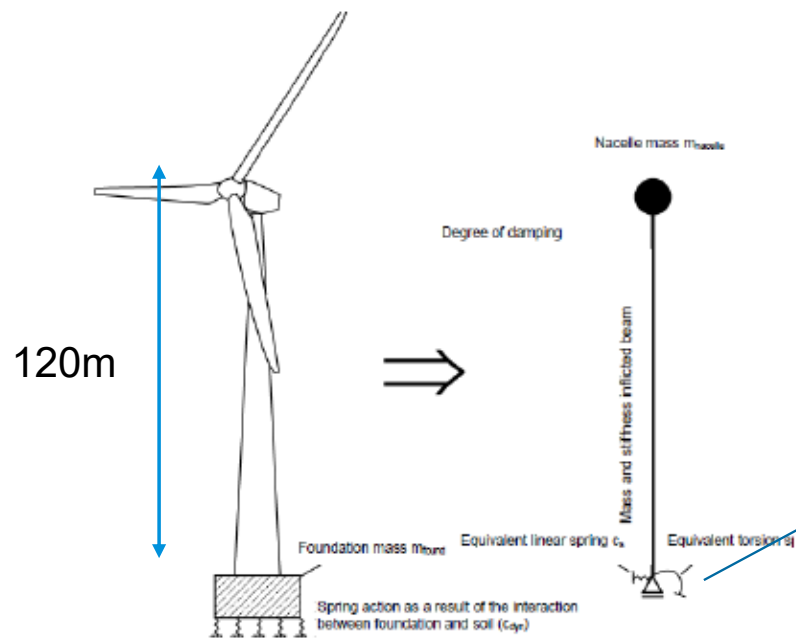
Tenderfase – 3 varianten



- Onshore Turbine vs offshore Turbine
- Proof of concept voor onshore turbine toepassen in het water

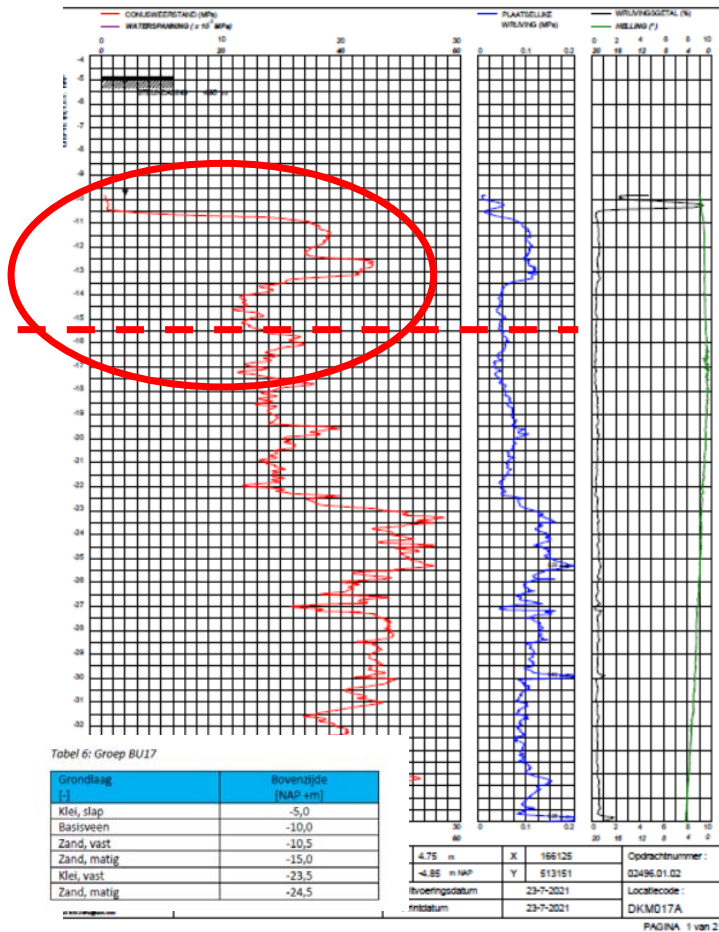
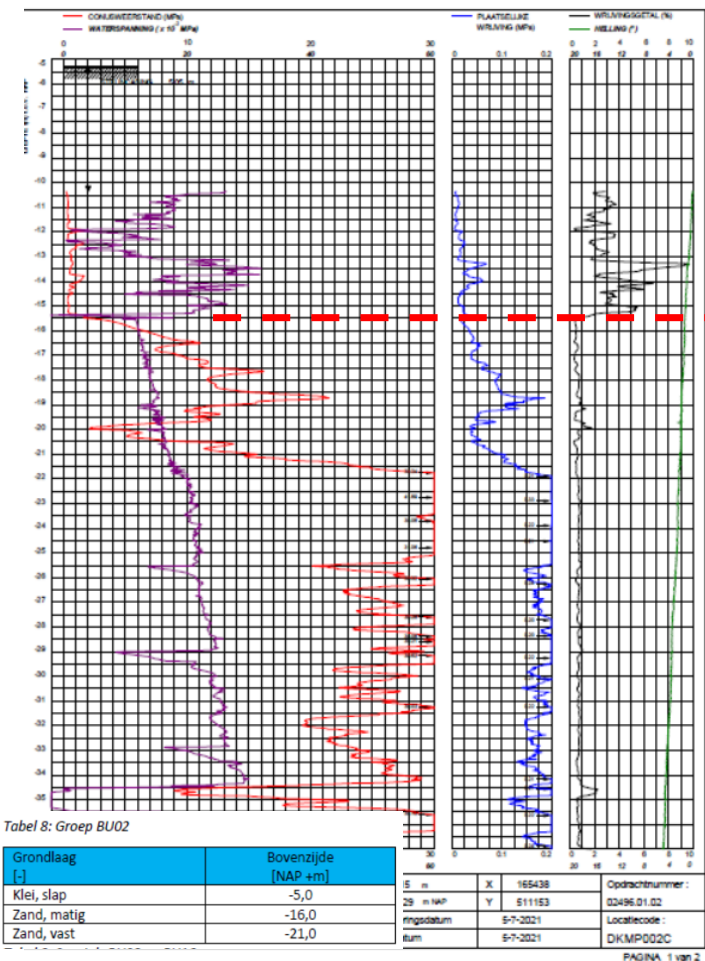


Randvoorwaarden



$K_{yz,min} = 400 \text{ MN/m}$
 $K_{\phi,min} = 150 \text{ GNm/rad}$

Grondonderzoek



Belastingen

- Turbine belastingen conform opgave GE / IEC-61400
- IJselbelasting conform opgave TU-Delft
- Golfbelasting conform methode Sainflou
- Aanvaarbelasting CEMT Klasse Va
- Ontgronding 0,5 – 1,5 meter conform opgave Deltares

CEMT Klasse	Referentietype van het schip	Lengte l [m]	Massa m [ton]	Kracht F_{ax} [kN]	Kracht F_{ay} [kN]
I		30-50	200-400	2 000	1 000
II		50-60	400-560	3 000	1 500
III	'Gustav König'	60-80	650-1 000	4 000	2 000
IV	Klasse Europe	80-90	1 000-1 500	5 000	2 500
Va	Groot Rijnschip	90-110	1 500-3 000	8 000	3 500
Vb	Duwboot + 2 bakken (lang)	110-180	3 000-6 000	10 000	4 000
VIa	Duwboot + 2 bakken (breed)	110-180	3 000-6 000	10 000	4 000
VIb	Duwboot + 4 bakken	110-190	6 000-12 000	14 000	5 000
Vic	Duwboot + 6 bakken	190-280	10 000-18 000	17 000	8 000
VII	Duwboot + 9 bakken	300	14 000-27 000	20 000	10 000

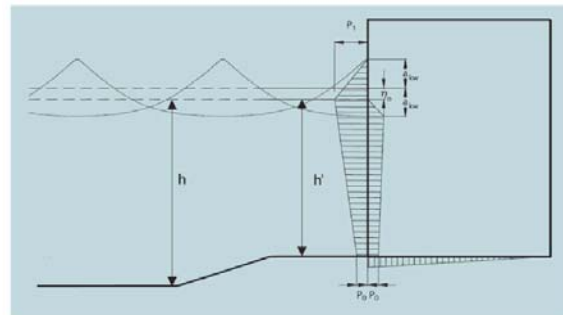


Table 2 – Characteristic ice design loads for WPP for a 20 m diameter support structure

DLC	Characteristic design load	Notes	Ref.
D1	6 MN	Can be distributed over the width (diameter) of the structure as a horizontal line load applied 1) from centre of wind farm to turbine and 2) from nearest shoreline to turbine	[1]
D2	4 MN	Can be distributed over the width (diameter) of the structure as a horizontal line load applied from nearest surrounding turbines to turbine considered	[1]
D3	For a lateral stiffness equal to or exceeding 425 MN/m ² : 4.25 MN *Otherwise, a dynamic calculation is required to determine potential load amplification due to interaction between ice and foundation.	Can be distributed over the width (diameter) of the structure as a horizontal line load applied at the ice action point assuming the worst direction from which the ice can drift towards the structure. Sector NW – NE.	[2]
D4	1% fatigue damage provision to account for D4 and D7 combined.	-	-
D5	0.90 MN	Can be distributed over the half-circumference of the structure as a downward vertical line load at the ice action point	[1][2]
D6	6.0 MN	Can be distributed over half-circumference of the structure as a horizontal line load applied at the ice action point assuming the worst direction from which the ridged ice can drift towards the structure.	[2]
D7	1% fatigue damage provision to account for D4 and D7 combined.	-	-
D8	As for D3.	Can be distributed over the half-circumference of the structure as a horizontal line load	[2]

GE Renewable Energy

Foundation Load Specification

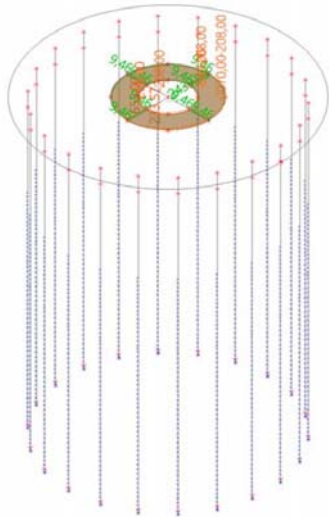
Load case	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	Fr [kN]	Mr [kNm]	γ [-]
DLC 1.3	6171.0	0.4	630.2	-1086.1	76745.5	7769.9	630.2	77136.8	1.00
DLC 6.1	5917.1	674.4	250.9	1014.6	16418.3	-68142.8	719.5	70093.4	1.00
DLC 1.3	6104.1	-27.0	946.7	1280.7	112691.7	11159.8	947.1	113242.9	1.00
DLC 2.1	5918.9	156.3	14.9	8095.9	-5262.1	-18307.9	157.0	19048.6	1.00
DLC 1.4	6089.5	20.4	900.0	-1281.6	116232.4	5354.5	900.2	116355.7	1.00
DLC 6.1	5909.5	651.1	284.1	2877.5	19341.5	-77889.7	710.4	80256.2	1.00
DLC 1.3	6104.1	-27.0	946.7	1280.7	112691.7	11159.8	947.1	113242.9	1.00
DLC 1.4	6089.5	20.4	900.0	-1281.6	116232.4	5354.5	900.2	116355.7	1.00

Table 1A: Extreme loads - IEC 61400 Normal Design Situations and Load Cases Only; excluding partial safety factor

Maatgevende situaties:

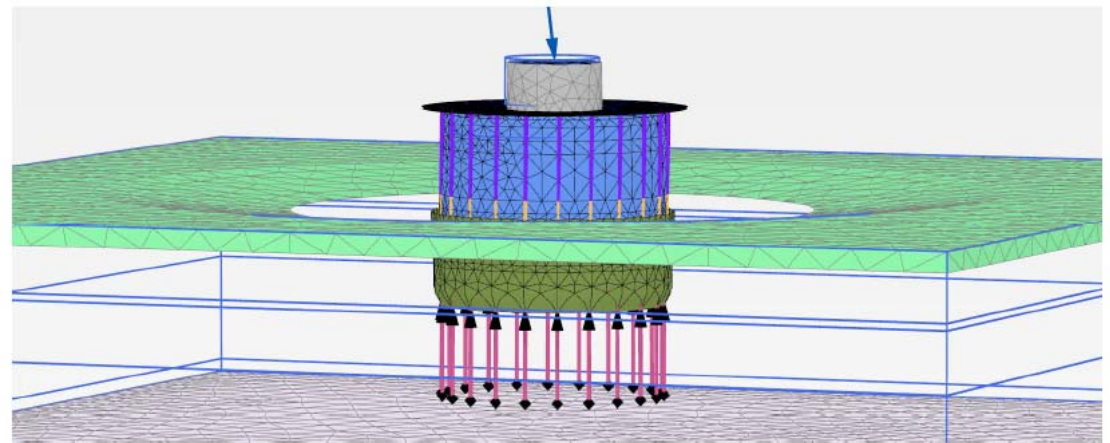
- ALS met aanvaarbelasting t.a.v. paalreacties en kopmomenten
- S3 Turbinebelastingen t.a.v. stijfheid fundatie (Kxy, min = 400 MN/m)

Reken modellen



SCIA-model

- Krachtverdeling in betonplaat



PLAXIS 3D

- Stijfheid fundatie
- Paalreacties en kopmomenten in buispalen
- Tijdsafhankelijke effecten

Verificatie rekenmodellen

Handberekening normaalkracht in buispalen

$$M = \sum_{i=1}^N N_i d_i \quad \text{voor buispaal } i$$

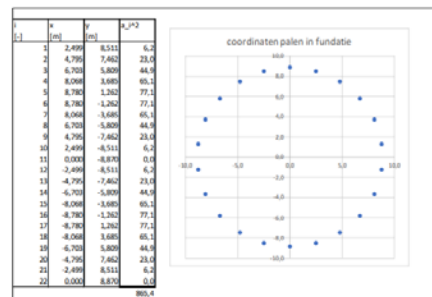
Voor een lineair elastische verdeling geldt t.o.v. de afstand tot de buitenste paal

$$N_i = N_{\text{max}} \frac{d_i}{d_{\text{max}}}$$

Combinatie geeft

$$M = \frac{N_{\text{max}}}{d_{\text{max}}} \sum_{i=1}^N d_i^2$$

$$\sum_{i=1}^N d_i^2 = 865,4 \text{ m}^2 \text{ is bepaald met Excel}$$



$$d_{\text{max}} = 8,87 \text{ m} \quad (\text{straal van positie buispalen t.o.v. hart poer})$$

$$M = M_{11} = 977518 \text{ Nm}$$

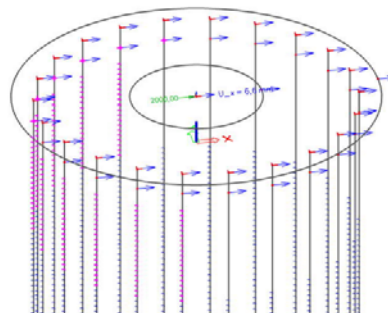
Herschrijven en invullen geeft

$$N_{\text{max}} = \frac{M}{d_{\text{max}}} = \frac{977518,87}{8,87} = 110202 \text{ N}$$

Stijfheid horizontale belasting

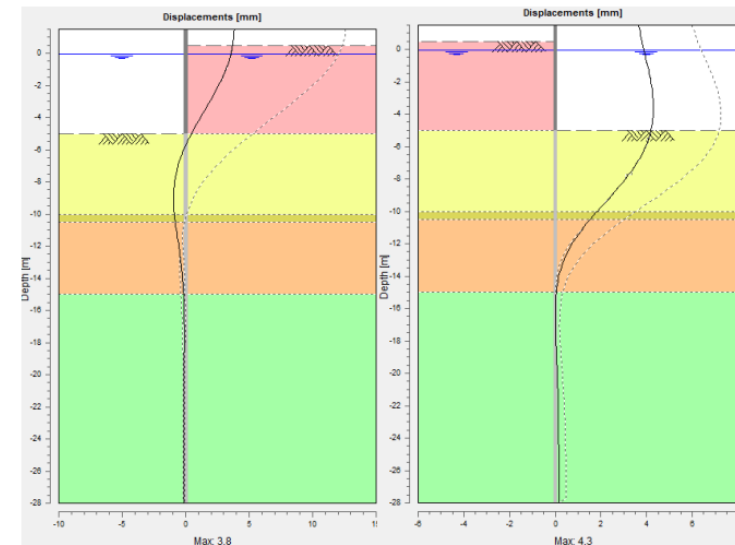
Voor de palen die op druk belast worden zijn veren ingevoerd. Voor de veerwaarde is losgepakt zand aangehouden. $k_s = 1,067 \cdot 6200 / \sqrt{s} = 46004 \text{ N/m}^2$, ingevoerd bij 10 palen, zie rode geselecteerde palen ondersteuning in onderstaande figuur. De berekening is opgesteld met statische veerwaarden. Voor het bepalen van de dynamische veerstijfheid geldt dat deze ca. 2 keer zo hoog is.

Onderstaande resultaat is verkregen bij een eenheidslast van 2000 kN.



Tabel 5 Samenvatting en vergelijking berekeningsresultaten

Berekening	Horizontale verplaatsing [mm]	Horizontale stijfheid [MN/m ³]
Plaxis 3D	4,8	428
DSheet Single Pile	3,7 (hoge bedding) 4,2 (lage bedding)	555 488
DSheet Sheetpiling	3,8	540



Figuur 7 Verificatie berekeningen Sheetpiling module; Berekende horizontale paalvervorming

Fundatie

WTG
+5.00 NAP

In-situ fundatie

Prefab taartpunten
(verloren bekisting)

Combiwand
Buizen gevuld met
grind + beton

Waterbodem
-5.00 NAP

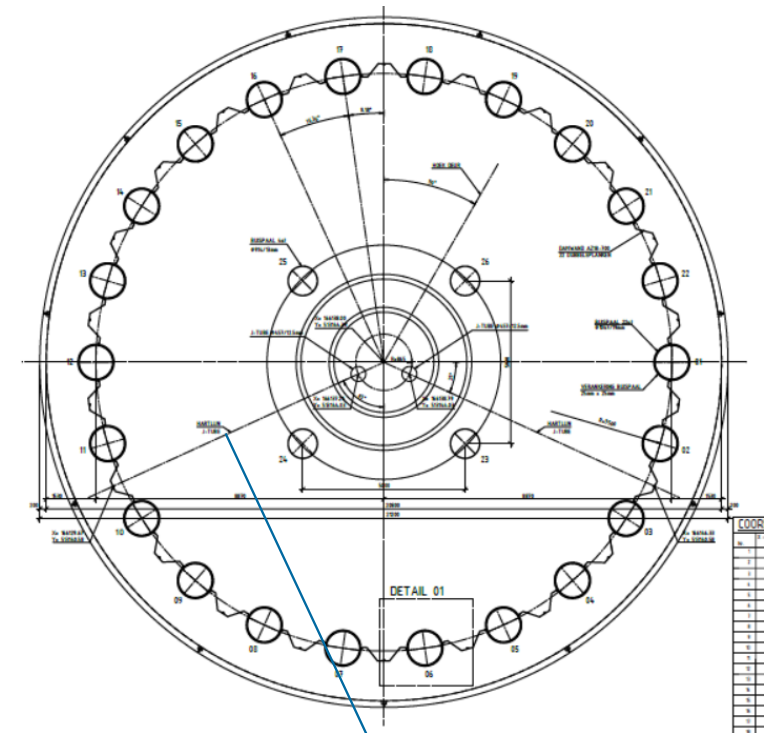
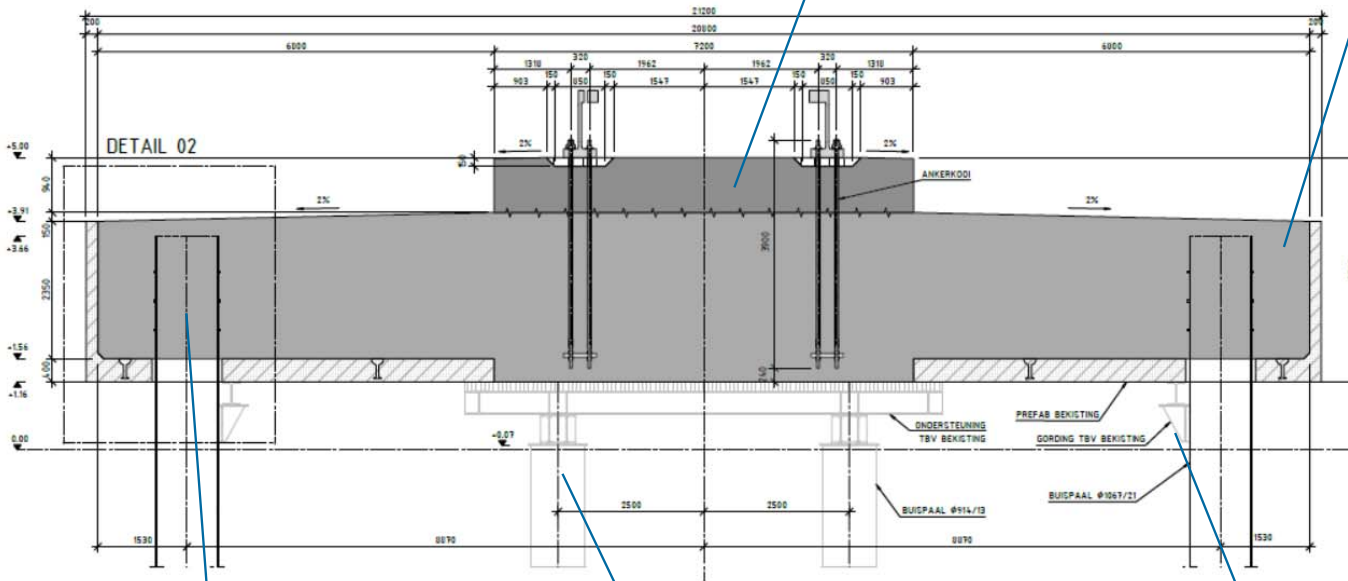
Zandvulling op
waterbodem

Weghalen slappe lagen tot
ca. -15.00 NAP + zandvulling

Fundatie

C50/60

C30/37



Combiwand
Ø1067x19 of 21

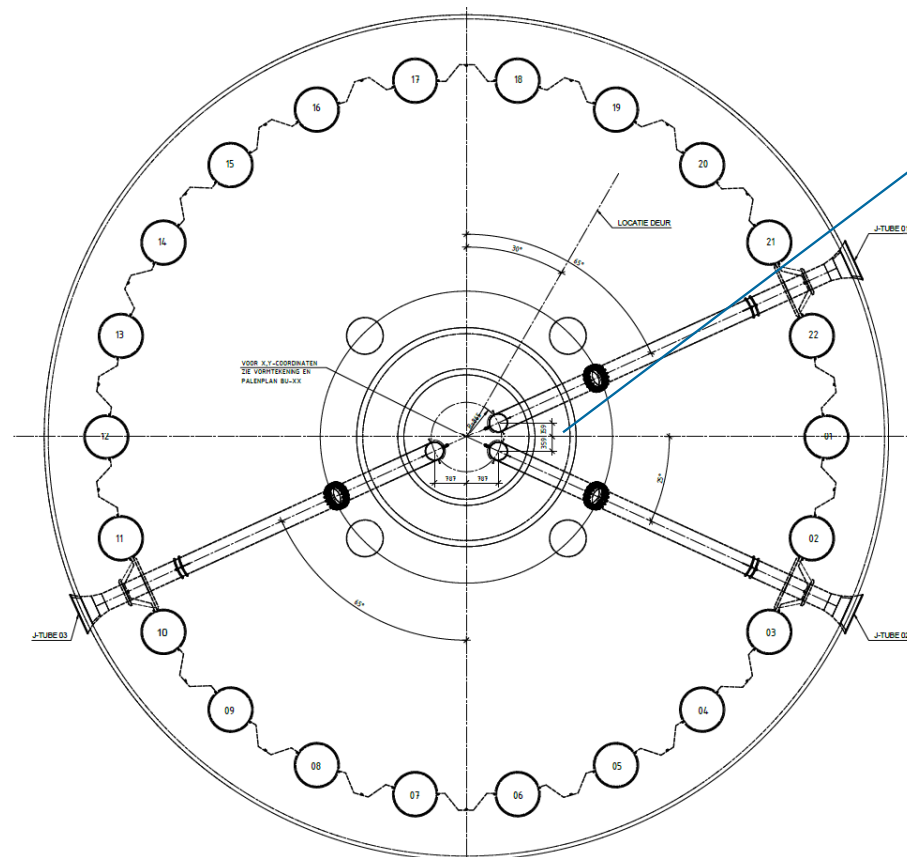
4 hulppalen
Ø914x13
Verloren bekisting

Ringgording
Oplegging prefab

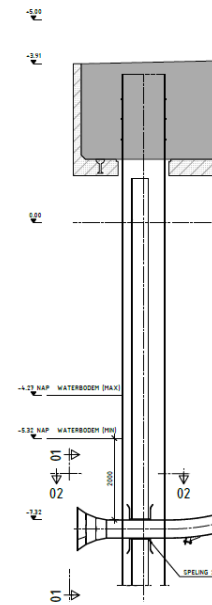
J-tubes
1,2 of 3 Ø457/12.5

J-tube

Vaste locaties



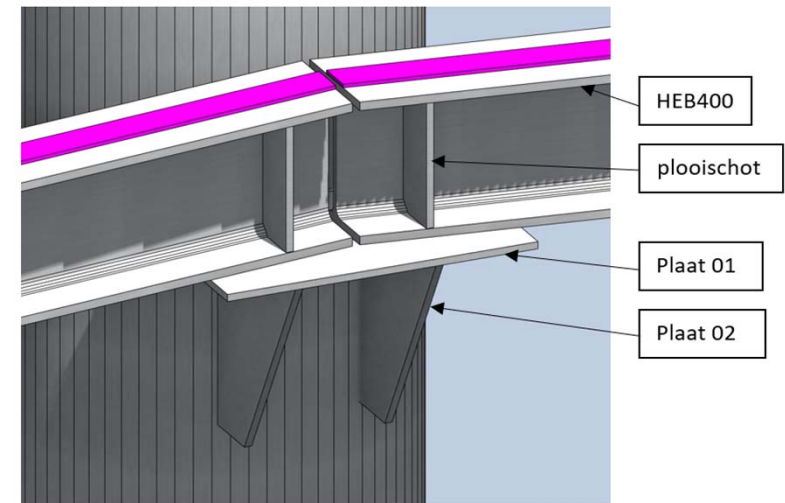
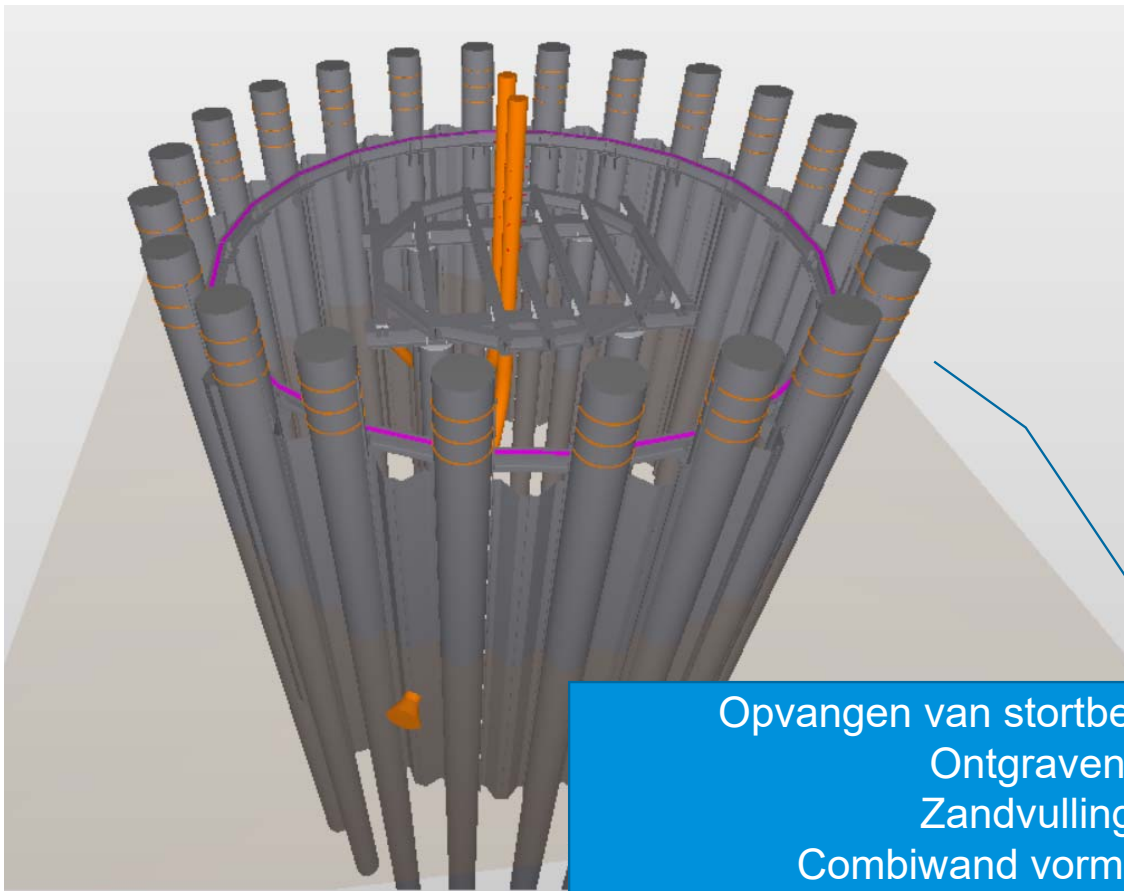
Symbol	J-tube 01	J-tube 02	J-tube 03
BU-01	X		
BU-02	X	X	
BU-03	X	X	
BU-04	X	X	
BU-05	X	X	
BU-06	X	X	
BU-07	X	X	
BU-08	X	X	
BU-09	X	X	
BU-10	X	X	
BU-11	X	X	
BU-12	X	X	
BU-13	X	X	
BU-14	X	X	
BU-15	X	X	
BU-16	X	X	
BU-17	X	X	
BU-18	X	X	
BU-19	X	X	X
BU-20	X	X	X
BU-21	X	X	X
BU-22	X	X	X
BU-23	X	X	X
BU-24	X	X	X



WERKINSTRUCTIE

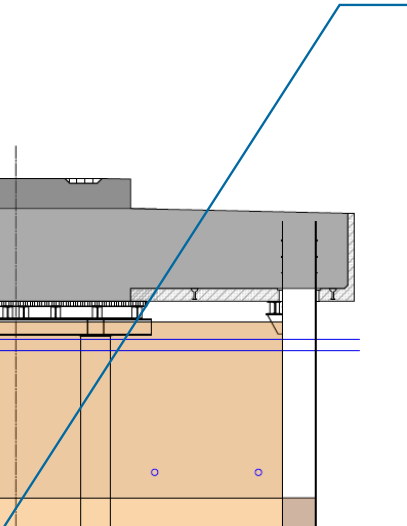
- Definieer hoogte waterbodem in het werk controleren.
- Na plaatsen binneste damwand controleren of er geen vrije ruimte aanwezig is.
- Na aanbrengen damwand en voor plaatsen profiel de J-tubes inwendig controleren of schade.
- Daarna in het werk aanbrengen

Ringgording / hulpconstructie



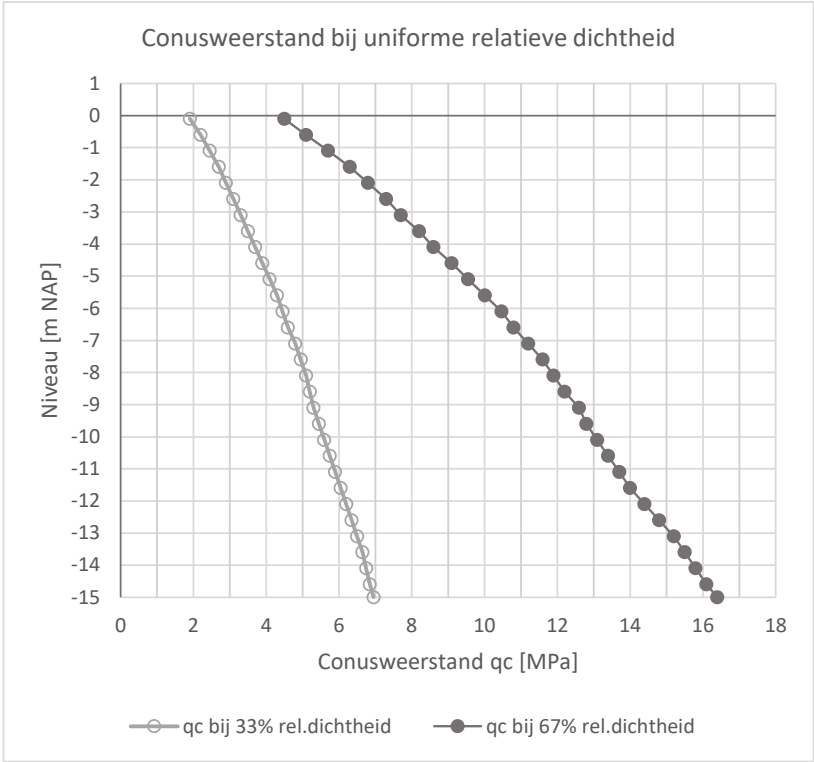
Opvangen van stortbelasting (oplegging prefab)
Ontgraven = drukgording
Zandvulling = trek gording
Combiwand vormvast tijdens uitvoering

© 2006 The Authors

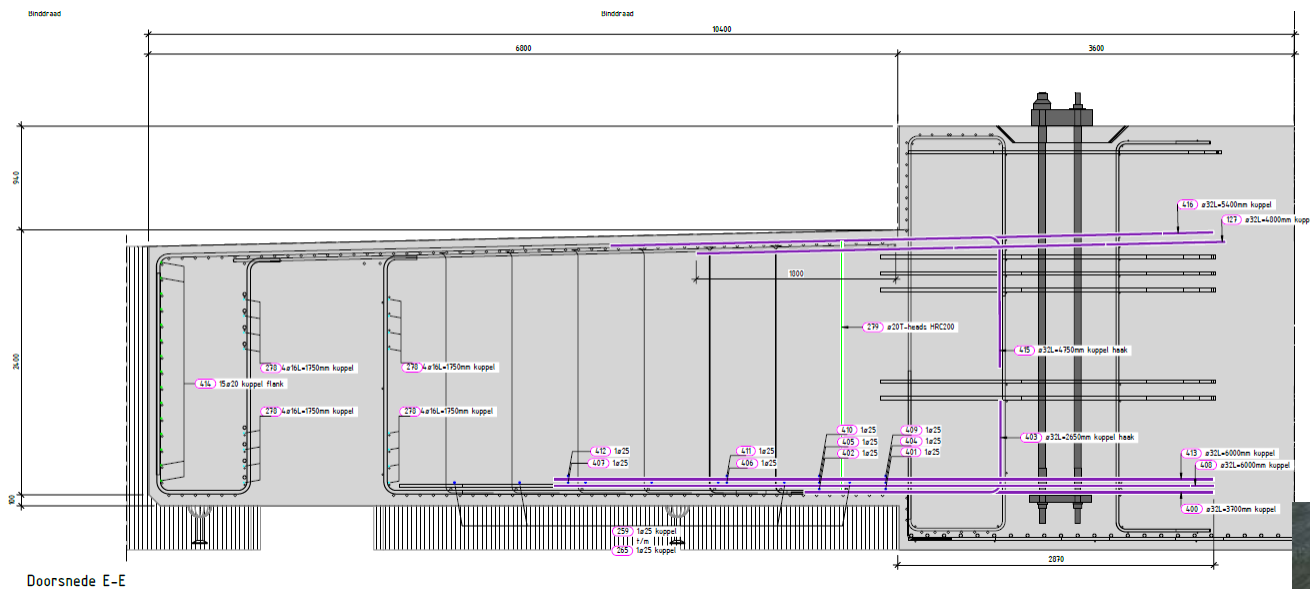


- AANTAL FIJNE DELEN (<63µm) <5%
- D60/D10 VERHOUDING >1,5
- HOEKIGE KORRELVORM (TENMINSTE MATIG HOEKIG CONFORM POWER KORRELVORM BEPALING)
- AANDEEL HUMEUZE BESTANDDELEN <3%

3 controle sonderingen per fundatie over diepte
zandvulling. Minimale dichtheid 33 %



Prefabricage van de wapening



Load spectra t.b.v. vermoeiing (25 jaar)

- $\sigma_{Rsk} = 130 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_{Rsk} = 80 \text{ N/mm}^2$ met hechtlassen



Defecten in ribben wapeningstaal Ø32



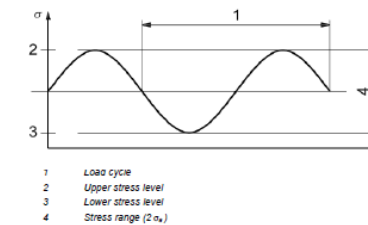
Figuur 2-1: Defect ALPA betonstaal

- 6 testen bepalen chemische samenstelling
- 24 statische testen zonder hechtlassen
- 6 statische testen met hechtlassen
- 10 vermoeiingstesten zonder hechtlassen
- 10 vermoeiingstesten met hechtlassen

5 Test results

5.1 Fatigue tests

The fatigue tests were carried out with the following settings:
 Upper stress level: 300 Mpa
 Lower stress level: 220 Mpa
 Stress range: 80 Mpa



sample	nominal diameter	free length of sample	upper force		force range		frequency	number of cycles	assessment
	mm	mm	KN	MPa	KN	MPa	Hz	N _{test}	
1	32	500	241,2	300	64,3	80	86	2.000.017	pass
2	32	500	241,2	300	64,3	80	86	2.000.023	pass
3	32	500	241,2	300	64,3	80	86	2.000.066	pass
4	32	500	241,2	300	64,3	80	86	2.000.013	pass
5	32	500	241,2	300	64,3	80	86	2.000.017	pass

requirements:

NEN 6008 eurocode 2

≥ 2.000.000



Samples 22-1, 22-2, 22-3, 22-4, 22-5 after fatigue

© 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd

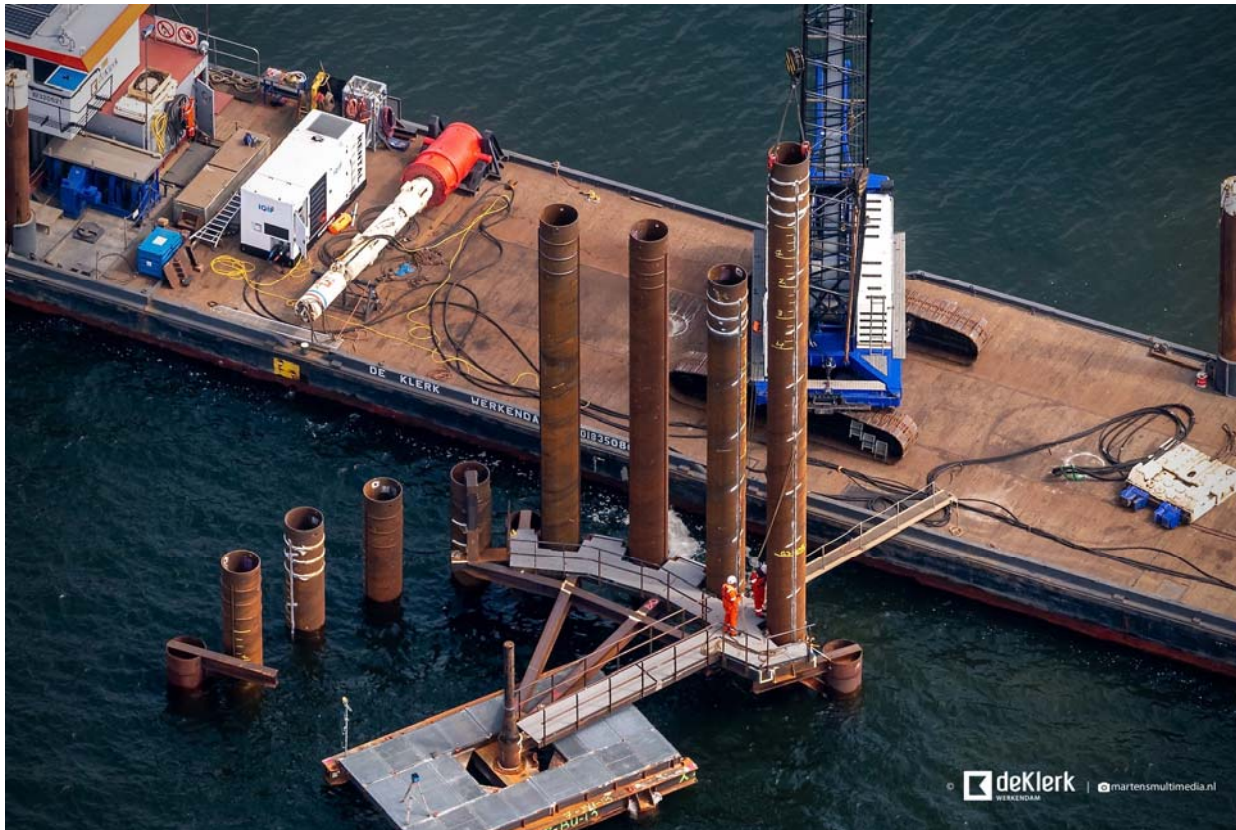
Pivotpunt en heiframe voor 4 hulppalen



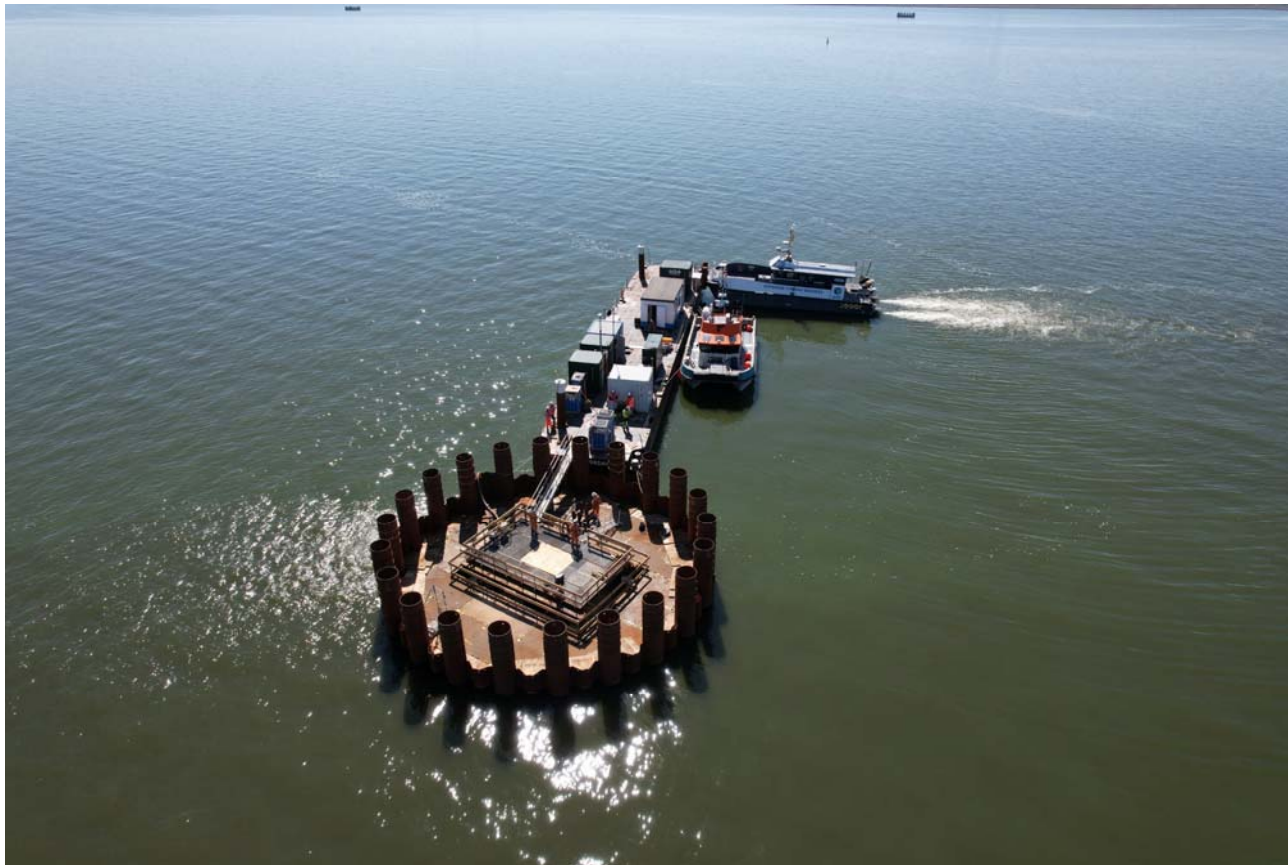
Montage H-frame en Pivotpunt



Heiframe



Werkplateau



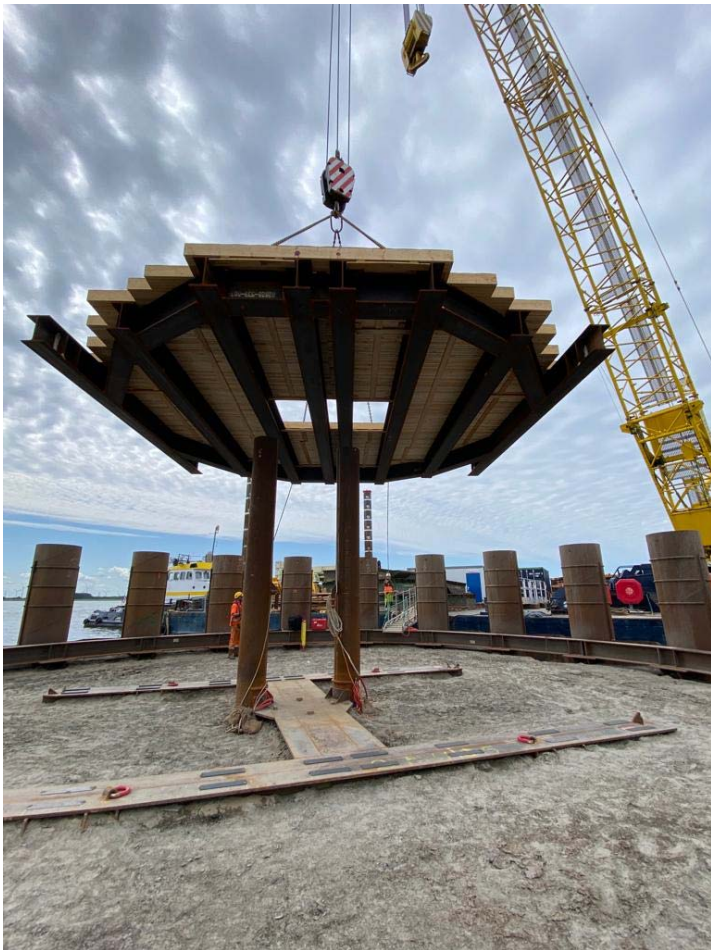
Ringgording



Montage J-tubes



Zanvulling en montage verloren bekisting middendeel



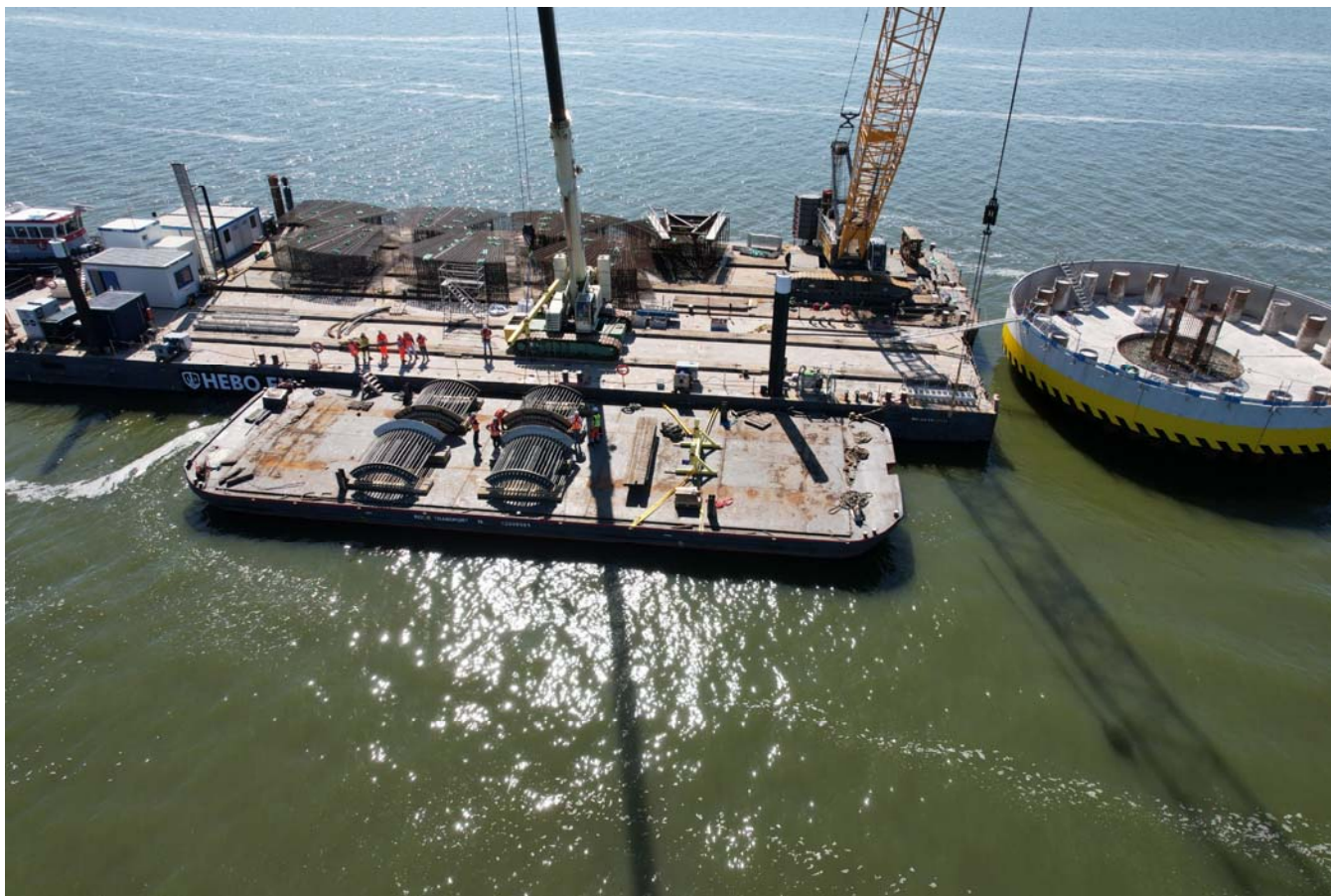
Montage prefab



Montage ankerkooi



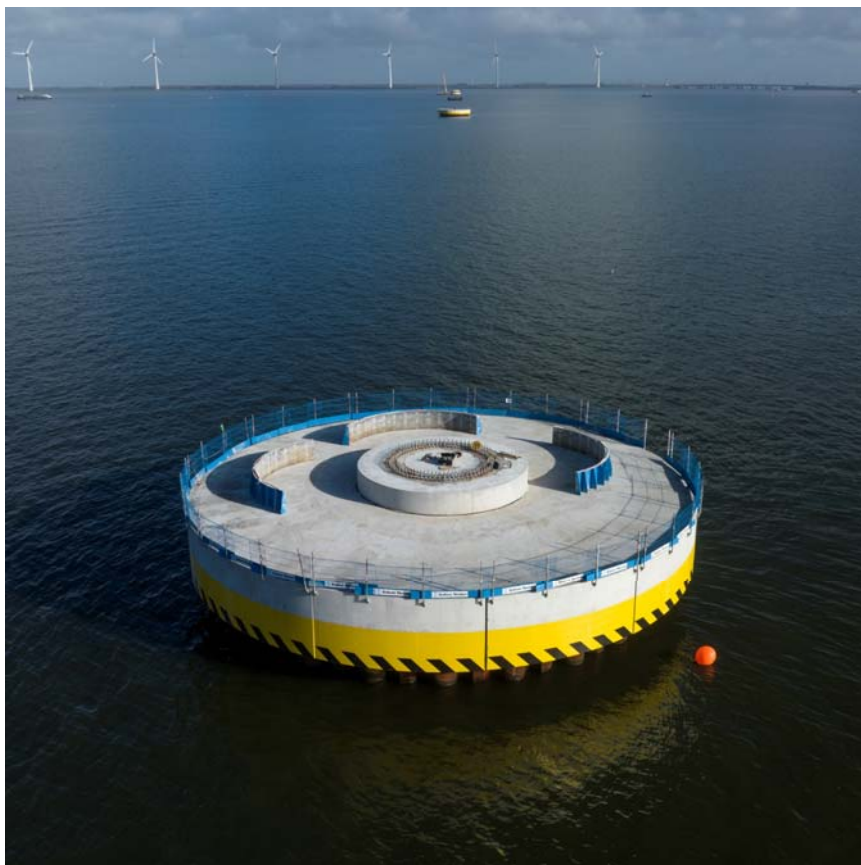
Montage wapening



Beton storten



Ontkisten plint



Montage TBR



Kabels scope



Montage turbine



Eindsituatie

