

MEMO

Aan: Peter van Heusden (MUG)
Van: Remmelt Mastebroek (Fugro)
CC: Florentine van der Wind (Pondera)
Datum: 10 april 2019
Ref.: 1019-0082-000
Betreft: 2 Windturbines te Duiven

...

Geachte heer van Heusden, beste Peter,

In uw opdracht heeft Fugro NL Land BV een beknopte memo opgesteld met betrekking tot de nieuwbouw van 2 windturbines op de locatie van de rioolwaterzuiveringsinstallatie te Duiven. In deze memo wordt richting gegeven aan een toe te passen paaltype als fundering en aan de opbouw van de kraanopstelplaatsen. De benodigde wegen zijn niet beschouwd. Het betreft geen ontwerp maar een kwalitatieve beschrijving van de mogelijkheden. De reden daartoe is enerzijds de beschikbare tijd en anderzijds dat er nog geen keuzes zijn gemaakt met betrekking tot het type turbine dat wordt geplaatst. Voordat hieromtrent keuzes worden gemaakt dient lokaal grondonderzoek te worden uitgevoerd, bestaande uit sonderingen en handboringen (incl. peilbuizen).

Door u is de volgende relevante en gebruikte informatie beschikbaar gesteld:

- Grondonderzoek uitgevoerd t.b.v. de nieuwbouw de rioolwaterzuiveringsinstallatie te Westervoort, uitgevoerd door Van Es-Rossmark b.v. onder order nummer 90-05-035 in mei/juni 1990 (sonderingen tot max ca. 18m minus maaiveld en enkele (hand)boringen)
- Een situatietekening met daarop aangegeven de locaties van de 2 windturbines.
- Indicaties van belastingen (paalbelastingen en belastingen vanuit de kranen).

Tevens is gebruik gemaakt van de recente verschenen publicatie 'STOWA 2019-02 Kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines'.

Lokale bodemopbouw

Op basis van het beschikbaar gestelde grondonderzoek en op basis van gegevens beschikbaar in het digitale archief van Fugro kan de lokale bodemopbouw globaal als volgt worden beschreven: Vanaf maaiveldniveau wordt tot een diepte van ca. 2 m à 4,5 m een deklaag (lokaal ca. 6m dik) aangetroffen bestaande uit een toplaag bestaande uit zand gevolgd door kleilagen (soms humeuze klei/veenhoudend). Daaronder is een dik pakket zand aangetroffen tot de maximaal bereikte diepte van ca. 18 m minus maaiveld. Het betreft zand met een variërende pakkingsgraad (wisselende conusweerstand). De bovenste 1 à 3 meters zijn veelal als matig fijn beschreven hetgeen in de diepte overgaat in grof en grindhoudend zand (e.e.a. gebaseerd op de lokaal uitgevoerde boringen tot max. 10m minus maaiveld). De conusweerstand variëren aan de bovenzijde van het zand veelal tussen ca. 3 MPa en 10 MPa. Het

MEMO

diepere zand kent conusweerstand die op lopen tot max ca. 50 MPa maar een erg grillig verloop tonen hetgeen waarschijnlijk duidt op een sterke variatie van zand- en grindlagen.

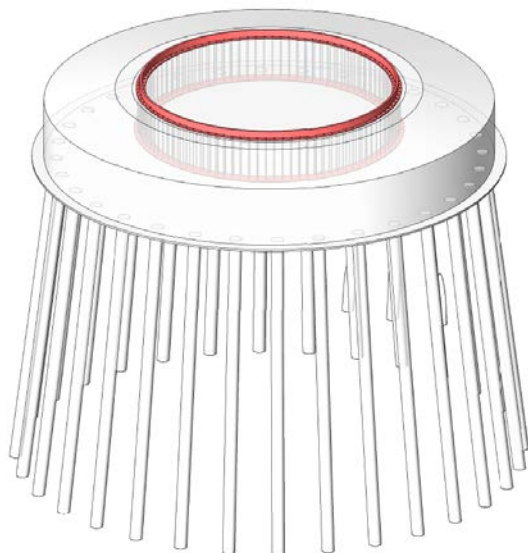
In 2005 zijn door Fugro ook enkele sonderingen nabij deze locatie (t.b.v. de vervanging van een bestaande vliegassilo) uitgevoerd welke het hierboven geschetste beeld bevestigen.

Het freatische grondwater (ondiepe grondwater) bevindt zich op ongeveer 1,8m à 2,8m minus het maaiveldniveau, gebaseerd op de boringen daterend uit 1990.

Op basis van informatie afkomstig uit het DINOloket kan gesteld worden dat de stijghoogte in het diepere zandpakket varieert tussen ca. maximaal NAP +9,5m à +10m en minimaal ca. NAP +7,0m à +7,5m (peilbuis B40B0469, B40B0461, gelegen op ca. 1,2km oostelijk van de projectlocatie). Deze stijghoogte zal onder invloed staan van het waterpeil in de IJssel, gelegen op ca. 500m afstand van de projectlocatie.

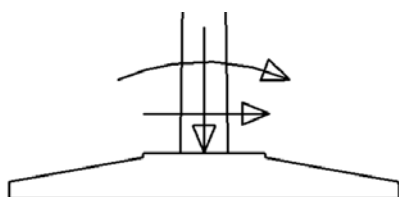
Fundering op palen windturbine

De fundering van de windturbines op land bestaat veelal uit een fundering op palen. Hierbij worden, afhankelijk van de leverancier van de windturbine, de palen veelal in een cirkel geplaatst. De diameter varieert (eveneens afhankelijk van de leverancier en het type turbine) tussen ca. 15m en grofweg 25m. Onderstaand is een voorbeeld gegeven van de palenfundering met daarop gelegen de betonnen sokkel/poer (welke een dikte kan hebben van ca. 3m (wederom sterk afhankelijk van de turbine leverancier en het type turbine)). De rode stalen ring betreft de aansluiting van de sokkel/poer op de mast van de turbine.



Het aantal palen varieert eveneens en kan bv. 32 stuks bedragen (voor bv. een 4,5 MW turbine met een ashoogte van 132m, type L136).

Het krachtspel op de fundering bestaat uit een verticale en een horizontale kracht en een torsie-moment zoals onderstaand schematisch weergegeven.



De verticale paalbelasting zal veelal variëren tussen ca. 1500 en 2500 kN. Dit betreft een belasting die neerwaarts is gericht (een druk belasting). De horizontaal kracht en het buigende moment leiden tot een verticale trekkracht op (een deel van) de palen die varieert tussen ca. 400 kN en 800 kN. Tevens stellen sommige turbine leveranciers een stijfheidseis aan de rotatie van de turbine. In het constructieve ontwerp en in het geotechnische ontwerp van de fundering komen deze aspecten samen.

Gezien de lokale bodembopbouw en de direct omringende bebouwing/constructies ligt het voor de hand om te kiezen voor een trillingsvrij paaltype om overlast t.g.v. trillingen te voorkomen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de toepassing van in de grond gevormde grondverdringende palen met een verloren punt (bv. type Fundex of gelijkwaardig) waarbij eventueel stalen buis kan achterblijven (bv. type Tubex of gelijkwaardig). Bij beide paaltypes kan tijdens het inbrengen groutinjectie worden toegepast hetgeen helpt bij het op diepte komen van de palen en een positieve bijdrage levert aan de grondmechanische draagkracht van de palen. Belangrijk voordeel van deze paaltypes is dat het robuuste palen betreft die in de lokaal aangetroffen ondergrond, die bijzonder vast gepakte zand/-grindlagen kent, kunnen worden aangebracht, mits op de juiste wijze uitgevoerd. Het in te zetten materieel dient door de paalleverancier te worden afgestemd op de lokale ondergrond.

De diameter en lengte van de palen hangt sterk af van het uiteindelijke funderingsontwerp en van het type windturbine en van de lokale ondergrond bij de turbine (o.b.v. het beschikbare grondonderzoek varieert deze sterk). Veelal dient rekening te worden gehouden met paalschachtdiameters die groter zijn dan 450mm. De lengte van de palen zal grofweg variëren tussen ca. 15m en 25m.

De palen worden veelal aangebracht in de (deels) ontgraven bouwput waarna de sokkel/poer wordt gestort (waartoe soms nog iets dieper wordt gegraven). Het zal derhalve noodzakelijk zijn tijdens die werkzaamheden te bemalen/te draineren. Eventueel dient aanvullend een spanningsbemaling in het diepere zandpakket te worden uitgevoerd teneinde te voorkomen dat de bouwputbodem opbarst.

Kraanopstelplaatsen

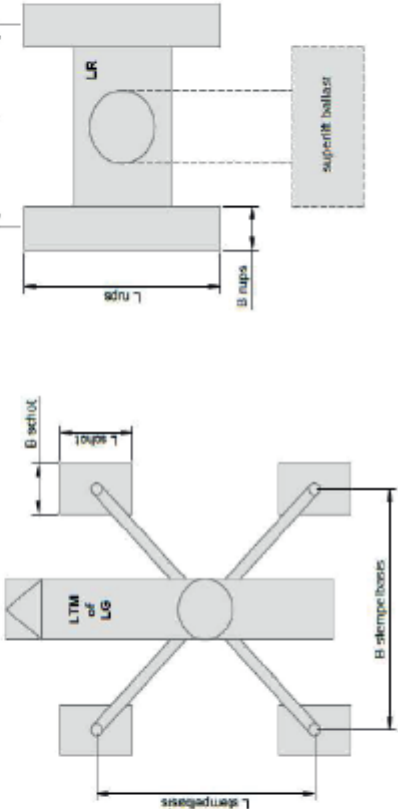
De belastingen die door de kraan, waarmee de windturbine zelf wordt gebouwd, op de ondergrond worden uitgeoefend zijn hoog. Derhalve worden hoge eisen gesteld aan het ontwerp van dergelijke kraanopstelplaatsen. Een richtlijn daartoe betreft de recente publicatie 'STOWA 2019-02 Kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines' die in de navolgende tekst veelvuldig is gebruikt.

Een indicatie van de kraanbelastingen is gegeven op de volgende bladzijde, het betreft een tabel uit de hiervoor genoemde publicatie.

STOWA 2019-02 KRAANOPSTELPLAATSEN BIJ DE BOUW VAN WINDTURBINES

De waarden in deze tabel zijn ter indicatie en enkel bedoeld om bewustwording te creëren. Voor elke load case zijn alternatieve kraantypen en/of -configuraties beschikbaar, met afwijkende stempeldrukken en/of rupsdrukken. De kraanleverancier dient voor elk nieuw project middels het rijspan de optredende drukken te bevestigen.												
Load Case					Kraan basisgegevens					Gelijk oprichten		
Nr.	Kraan type	Configuratie	Nacelle gewicht (ton)	Naaf hoogte (m)	Massa basis kraan ¹⁾ (ton)	Stempelbasis LxB / h.o.h. maat rupsen (m)	Alfmeting schot ²⁾ LxB	Alfmeting rups ³⁾ LxB	Benodigde SL ballast (ton)	Totale massa kraan (ton)	Max. stempel kracht (kN)	Max. rups druk (kN/m ²)
1	LTM 1500-8.1	TY3SN	70	60	290	10,0 x 9,6	4,0x2,4	-	nvt	290	842	-
2	LTM 1750-9.1	TYV2EN	80	80	395	12,0 x 12,0	4,5x2,4	-	nvt	395	1236	-
3	LTM 11200-9.1	T3YV2VEN	80	105	430	13,0 x 13,0	5,8x2,4	-	nvt	430	1432	-
4	LR 1600/2	SL3F	80	105	485	8,4	-	8,7x1,34	nvt	485	1550 ⁴⁾	315 ⁴⁾
5	LG 1750	SL8HS	60	105	495	16,0 x 16,0	6,0x2,5	-	nvt	495	2276	-
6	LR 1600/2	HSL4DF	80	120	560	8,4	-	8,7x1,34	810	1370	-	942
7	LG 1750	SL8HDS	80	120	460	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	200	660	2276	-
8	LR 1600/2	SL13DFB	80	140	565	8,4	-	8,7x1,34	300	865	-	816
9	LG 1750	SL7DHS	80	140	520	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	350	770	2766	-
10	LR 1750/2	HSL7DHS	80	140	630	8,8	-	9,1x1,34	290	920	-	904
11	LR1750/2	SX3D4F2B	105	185	830	8,8	-	9,1x1,8	400	1230	-	567
12	LG 1750	SX3D4F2B	110	165	725	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	400	1125	2943	-
13	LG 1750	SL12D2FB	140	130	750	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	340	1090	2502	-
Operationele situatie, hijsen nacelle												
Haak hoogte (m)	Kraan radius (m)	Benodigde SL ballast (ton)	Totale massa kraan (ton)	Max. stempel kracht (kN)	Max. rups druk (kN/m ²)							
75	18	nvt	290	1472	-							
90	20	nvt	395	1815 ⁵⁾	-							
115	24	nvt	430	2129 ⁵⁾	-							
120	18	nvt	485	-	473							
125	18	nvt	495	1864 ⁵⁾	-							
135	20	0-70	560-630	-	545							
140	20	-	460	1091	-							
155	24	45-90	610-655	-	488							
150	24	-	520	2325	-							
155	24	-	630	-	739							
180	28	105-175	935-1005	-	421							
180	28	110-180	835-905	2560	-							
145	28	130-150	880-940	2609	-							

¹⁾ Exclusief eventueel benodigde Supacell Ballast voor het oprichten van de giek of de operationele situatie.
²⁾ Indicator (verschilt in het algemeen per kraanverhuurder), de schotten mogen in gedraaide positie toegepast worden.
³⁾ De maximale rupsdrukken in deze klasse kunnen uitgaan van een rups met een breedte van 1,5 m of 2,0 m (de effectieve werkende breedte op harde ondergrond is 1,34 resp. 1,84 m).
⁴⁾ De giek wordt opgericht met behulp van ophangpunten, de volledige kraanmassa wordt dan over de twee punten (max. 1020 kN ton op één punt) en één rups (max. 315 kN/m²).
⁵⁾ In de operationele situatie ontstaan de grootste omkeert en draai momenten vooral door de kraanballast.



Aan deze tabel kunnen geen rechten ontleend worden.

MEMO

De exacte maten van een kraanopstelplaats zijn vooralsnog niet te geven maar maten van 40m x 60m zijn tegenwoordig voor de grotere windturbines nodig. Een willekeurig beeld van een kraanopstelplaats is hieronder weergegeven.



Een belangrijk aspect m.b.t. de benodigde ruimte betreft de giek van de kraan. Deze zgn. 'giek-opbouw ruimte' hangt wederom af van de in te zetten kraan en van de hoogte van de turbine. De hoogte van de turbine is daarbij veelal leidend. De benodigde breedte van deze ruimte kan oplopen tot 15m à 20m. Deze ruimte dient aan te sluiten op de kraanopstelplaats.

Voor het ontwerp van een kraanopstelplaats zijn diverse mogelijkheden:

- Fundering op staal, evt. in combinatie met een grondverbetering (bv. soil-mix of aanbrengen goed te verdichten zand) danwel versterkt met de toepassing van geotextielen/geogrids
- Fundering op een palenmatras
- Fundering op een poer met palen.

Op basis van de lokale ondiepe ondergrond dient er rekening mee te worden gehouden dat zonder een grondverbetering (in welke bovengenoemde vorm dan ook) geen veilige en stabiele kraanopstelplaats gebouwd kan worden. Daartoe is de ondiepe ondergrond te weinig draagkrachtig. De keuze omtrent welke vorm van grondverbetering kan worden toegepast danwel de keuze om een fundering op palen te realiseren kan in dit stadium nog niet gemaakt worden. De directe omgeving kan daarbij ook leidend danwel richtinggevend zijn, zo moet voorkomen worden dat een ontgraving leidt tot een beïnvloeding van belendende objecten (op danwel in de ondergrond).

Een methodiek die vaker succesvol is toegepast betreft de toepassing van geogrids. Hiermee kan een goede belasting spreidende laag worden gerealiseerd. De dikte alsmede de hoogteligging van deze laag hangt af van de lokale freatische grondwaterstand en de dikte van de weinig draagkrachtige deklaag en mogelijk ook van de hiervoor benoemde belendende objecten. De gewenste drooglegging danwel de

MEMO

eventueel benodigde verhoging van de sterkte van de dragende ondergrond kan de inzet van een drainage noodzakelijk maken.

Bij de bouw van de kraanopstelplaats dient, afhankelijk van de uitvoeringswijze, bemalen te worden. Eventueel dient aanvullend een spanningsbemaling in het diepere zandpakket te worden uitgevoerd.